

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:**  
**EFFECTO DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN EN LA CALIDAD DEL**  
**PRODUCTO TÉCNICO DEL SERVICIO RESIDENCIAL.**

**AUTOR:**  
**CHRISTIAN EDUARDO FIALLOS BANDA**

**DIRECTOR:**  
**VÍCTOR HUGO OREJUELA LUNA**

**Quito, Febrero del 2015**

### **DECLARATORIA DE AUTORÍA:**

Yo, Christian Eduardo Fiallos Banda autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 27 de Febrero del 2015

---

**Christian Eduardo Fiallos Banda**  
**CC:1716793805**

**AUTOR**

## **CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado cada uno de los capítulos técnicos de la presente Tesis, así como haber evaluado los resultados de las pruebas experimentales desarrolladas con el fin de investigar el “EFECTO DE LAS COCINAS DE INDUCCIÓN EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO TÉCNICO DEL SERVICIO RESIDENCIAL.”; realizadas por el Sr. Christian Eduardo Fiallos Banda, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 27 de Febrero del 2015

---

**Ing. Víctor Hugo Orejuela Luna**

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA.**

*Christian Eduardo Fiallos Banda*

*Este proyecto es dedicado  
con mucho amor a toda mi familia, en  
especial a mi madre y hermanos  
quienes me han ayudado cada día  
para salir adelante, y a mi novia por  
su comprensión y apoyo  
incondicional, en los momentos  
difíciles que se presentaron en este  
camino del aprendizaje.*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Christian Eduardo Fiallos Banda*  
*Agradezco a la Universidad*  
*Politécnica Salesiana por haberme*  
*permitido ser parte de ella. A todos*  
*los docentes, por compartir sus*  
*conocimientos y experiencias, en*  
*especial a mi Director Ing. Víctor*  
*Orejuela por su apoyo en este trabajo*  
*y por los conocimientos impartidos.*

## INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA: .....	ii
CERTIFICA: .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
INDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	ix
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE ANEXOS .....	xi
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1 .....	2
1 CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO .....	2
1.1 Aspectos generales de la regulación 004/01 del CONELEC. ....	2
1.1.1 Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE).[2].....	2
1.1.2 Reglamento Sustitutivo del Reglamento General de la LRSE [3] .....	3
1.1.3 Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad.....	4
1.1.4 Regulación CONELEC - 004/01 .....	7
1.2 Calidad del producto técnico. ....	10
1.2.1 Nivel de voltaje.....	10
1.2.2 Perturbaciones .....	12
1.2.3 Factor de potencia .....	17
1.3 La Matriz Energética del Ecuador .....	19
1.3.1 Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017.....	19
1.3.2 Balance Energético Nacional.....	20

1.3.3	Plan Maestro de Electrificación.....	23
1.4	Normas de las cocinas de inducción referente a la calidad del producto. ....	24
1.4.1	Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 555:2010 .....	24
1.4.2	Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101 .....	25
CAPITULO 2	.....	29
2	COCCIÓN EFICIENTE POR INDUCCIÓN .....	29
2.1	Principio de calentamiento por inducción. ....	29
2.1.1	Ley de inducción de Faraday.....	29
2.1.2	Ley de Lenz.....	30
2.1.3	Corrientes de Foucault.....	30
2.1.4	Cocción por inducción.....	30
2.2	Componentes de un sistema de calentamiento por inducción. ....	32
2.3	Programa de Cocción Eficiente en el Ecuador. ....	33
2.4	Ventajas de la cocción por inducción.....	36
CAPITULO 3	.....	38
3	PRUEBAS DE LABORATORIO .....	38
3.1	Plan de pruebas y equipos necesarios.....	38
3.1.1	Plan de pruebas.....	38
3.1.2	Equipos utilizados.....	41
3.2	Formatos para registro de resultados .....	49
3.3	Desarrollo de las pruebas.....	51
3.4	Registro de variables de entrada y resultados de salida .....	52
CAPITULO4	.....	55
4	TRATAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS .....	55
4.1	Procesamiento y depuración de resultados.....	55
4.2	Análisis de resultados .....	58
4.2.1	Nivel de voltaje.....	58

4.2.2	Factor de potencia .....	60
4.2.3	Armónicos .....	62
4.3	Comparación entre datos iniciales y finales .....	66
4.3.1	Nivel de voltaje.....	66
4.3.2	Factor de potencia .....	67
4.3.3	Armónicos .....	69
4.4	Identificación de los efectos del empleo de las cocinas de inducción en la calidad del producto: niveles de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia. 70	
4.4.1	Nivel de voltaje.....	70
4.4.2	Factor de potencia .....	71
4.4.3	Armónicos .....	71
CONCLUSIONES.....		73
RECOMENDACIONES .....		74
REFERENCIAS .....		75
ANEXOS.....		79



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cadena de la energía eléctrica.....	21
FIGURA 1.2: Estructura del consumo por sectores .....	22
FIGURA 1.3: Consumo del sector residencial por tipo de fuente.....	22
Figura 1.4 Símbolo de apagado/encendido .....	28
Figura 1.5: Ejemplo de la información de la eficiencia energética .....	28
Figura 2.1 Equivalente de un sistema de inducción .....	31
Figura 2.2 Esquema de una cocina de inducción .....	32
Figura 2.3: Esquema de componentes de una cocina de inducción .....	33
Figura 2.4 : Pantalla de registro al programa .....	35
Figura 3.1: Equipo de medición Fluke 435 .....	41
Figura 3.2: Pantalla de menú de armónicos.....	42
FIGURA 3.3: Pantalla de menu de Voltios/Amperios/Hz .....	44
FIGURA 3.4: Pantalla de selección de potencia y energía .....	45
Figura 3.5: Encimera de inducción modelo Ei 4PVI60.....	47
FIGURA 3.6: Encimera de inducción Ei 4PVI60 con su número de inductor.....	50
Figura 3.7 Equipo utilizado durante las pruebas .....	51
FIGURA 4.1: Ejemplo de tabla generada en Excel voltaje y corriente .....	56
FIGURA 4.2: Ejemplo de datos registrados voltaje y corriente en Power Log 4.3.1 .....	56
FIGURA 4.3: Comportamiento del voltaje en comparación con los límites de la regulación.....	59
FIGURA 4.4: Comportamiento del nivel de voltaje con la cocina de inducción en funcionamiento .....	60
FIGURA 4.5: Comportamiento del factor de potencia .....	62
FIGURA 4.7: Armónicos de corriente .....	63
FIGURA 4.8: Armónicos de voltaje.....	64
FIGURA 4.9: Armónicos de voltaje.....	64
FIGURA 4.10: Armónicos de corriente .....	65
FIGURA 4.11: Armónicos de corriente .....	65
FIGURA 4.12: Armónicos de voltaje.....	66

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Límites de variaciones de voltaje .....	12
Tabla 1.2Valores limites THDV .....	17
Tabla 3.1 Correspondencia de armónicos, frecuencia, y secuencia .....	43
Tabla 3.2 Características generales, encimera de inducción EI-4PVI60.....	48
Tabla 3.3: Formato de registro #1 .....	49
Tabla 3.4: Formato de registro #2 .....	49
Tabla 3.5 formato de registro de variables dependientes .....	50
Tabla 3.6 Registro #1 variables independientes .....	53
Tabla 3.7 Registro #2 variables independientes .....	53
Tabla 3.8 Registro de variables dependientes .....	54
Tabla 4.1 Ejemplo de mediciones con características similares.....	57
Tabla 4.2: Tabla modelo de comportamiento del voltaje durante las pruebas .....	59
Tabla 4.3Ejemplo de valores registrados del factor de potencia. ....	61
Tabla 4.4Comparacion de datos registrados del nivel de voltaje .....	67
Tabla 4.5 Valores de nivel de factor de potencia diferentes pruebas .....	68
Tabla 4.6: Datos de armónicos de la red .....	69
Tabla 4.7: Datos de armónicos con la cocina funcionando.....	69
Tabla 4.8: Diferencia entre datos iniciales y finales .....	69
Tabla 4.9 Cuadro comparativo de niveles de voltaje .....	70
Tabla 4.10 Cuadro comparativo de niveles de factor de potencia.....	71
Tabla 4.11 : Valores de armónicos de voltaje .....	72
Tabla 4.12: Valores de armónicos de corriente .....	72

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1. Registro de pruebas de incremento progresivo de potencia .....	79
ANEXO 2 Tablas de resultados de pruebas incremento progresivo de potencia.....	80
ANEXO 3 Graficas de armónicos en modo de uso normal de la cocina de inducción .....	82
ANEXO 4 Evolución temporal de los armónicos 3,5,7 incrementando potencia .....	83

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

BV	Bajo voltaje
MB	Medio voltaje
AV	Alto voltaje
V <sub>n</sub>	Voltaje nominal
V <sub>s</sub>	Voltaje de suministro
LRSE	Ley de Régimen del Sector Eléctrico
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
GLP	Gas licuado del petróleo
THDV	Distorsión armónica total de voltaje
THDI	Distorsión armónica total de corriente
Hz	Hercio
KHz	Kilohercio
W	Vatio
KW	Kilovatio
V	Voltio
KV	Kilovoltio
A	Amperio
FP	Factor de potencia
VCC	Voltaje de corriente continua
VCA	Voltaje de corriente alterna
VA	Voltamperio
KVA	Kilovoltamperio

## RESUMEN

# Efecto de las Cocinas de Inducción en la Calidad del Producto Técnico Residencial

Christian, Eduardo, Fiallos, Banda

cfcfcf14fiallos@hotmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

*Resumen*— En este trabajo se presentan los resultados de una investigación experimental sobre los efectos que tendrá en la calidad de producto que brinda las empresas eléctricas de distribución, por el empleo de las cocinas de inducción. La parte experimental se desarrolló mediante pruebas de laboratorio en la Universidad Politécnica Salesiana, durante 18 días en una muestra de 2 cocinas de inducción. También se incluye las descripciones los procedimientos y elementos utilizados para la realización de las pruebas y para la adquisición de los datos. Inicialmente se presenta un resumen de la parte pertinente de la Regulación del CONELEC 004/001 en lo que se refiere a la calidad del producto y, los límites establecidos para los parámetros técnicos de; nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia. Se realiza una introducción de los aspectos más relevantes de la Matriz Energética del Ecuador, en lo referente al programa de cocción eficiente y, se incluyen los aspectos más importantes de normas establecidas por el INEN en cuanto a las prácticas de operación y funcionamiento en las cocinas de inducción. También se presenta información sobre el funcionamiento, y los componentes de un sistema de cocción por inducción.

Los resultados de las pruebas fueron analizados y depurados, y se presentan en forma gráfica y en tablas comparativas, con y sin las cocinas de inducción en funcionamiento; lo cual permite identificar los efectos que se tendrá en la calidad de producto que brindarán las empresas eléctricas de distribución a sus usuarios, por el uso de las cocinas de inducción.

Se incluyen las conclusiones y recomendaciones más relevantes.

*Índice de Términos*— Armónicos, calidad de energía eléctrica, cocinas de inducción, cocción eficiente, distorsión armónica total, factor de potencia, inducción magnética.

## ABSTRACT

# Effect of Induction Cooking in Product Quality Residential Service Technician

Christian Eduardo Fiallos Banda

Cfcfcf14fiallos@hotmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

*Abstract-* This thesis work presents the results of an experimental investigation of the effects that will have in the quality of product that will be provided the electricity distribution companies, by the use of induction cookers that . The experimental part was developed by laboratory tests at the Salesian Polytechnic University, for 18 days in a sample of 2 induction cookers. Descriptions of procedures and elements used to perform testing and data acquisition also included.

A summary of the relevant parts of the CONELEC 004/001 Regulation in regards to the quality of product and to the limits of: voltage levels, interference and power factor, is presented. An introduction of the more relevant aspects of the energy matrix of Ecuador is made, in relation to the efficient cooking program. The most important aspects of the INEN standards regarding operation and operating practices with induction cookers is also included. Relevant information on the functioning and on the components of a induction cooking system, together with the advantages of the use of this technology, is also presented.

The results of the tests were analyzed and are presented in graphical form and in comparative tables that allows to identify the effects that will be having the use of induction cookers on the quality of the product provided by the electric utilities.

Relevant conclusions and recommendations are also included.

*Key words:* harmonics, power quality, induction cookers, efficient cooking, total harmonic distortion, power factor, magnetic induction.

## INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) ha dado a conocer que se encuentra en marcha el Plan Nacional de Cocción Eficiente, cuyo objetivo es mejorar la eficiencia energética mediante la sustitución de cocinas a gas (GPL) por cocinas de inducción.

En los últimos años, muchos trabajos de investigación tienen como objeto de estudio los problemas de la calidad de energía eléctrica, causadas por cargas no lineales en la red . Las cocinas de inducción tienen fuerzas electromotrices inducidas en material ferroso que producen la circulación de corrientes de Foucault e histéresis, en altas frecuencias (Khz), al ser un equipo constituido en gran parte por componentes electrónicos su comportamiento es el de una carga no lineal, por lo que en mayor o menor medida produce efectos que pueden afectar a la red eléctrica.

Al no tener información que permita identificar el efecto que tendrá el empleo de las cocinas de inducción en la calidad del producto, contemplado en la regulación 004/01 del CONELEC ; se hace necesario obtener datos reales que permitan conocer la incidencia de las cocinas de inducción en el cumplimiento de los niveles de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia, en instalaciones residenciales en las que se conectaran las cocinas ; por lo que se plantea esta investigación, que sustentara en la realización de pruebas controladas en el los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana con cocinas de inducción que se están actualmente ofertando en el país; para determinar los efectos de las cocinas de inducción en la calidad del producto del servicio residencial.

## **CAPITULO 1**

### **1 CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO**

En este capítulo se tratara sobre las normas vigentes en las que actualmente se está enmarcando el programa de inclusión de cocinas de inducción y su integración en la matriz energética del Ecuador , partiendo de la regulación 004/01 del CONELEC que tiene como objetivo establecer los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico, haciendo referencia en gran parte a la calidad de producto técnico y los parámetros que lo involucran como son; el nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia.

#### **1.1 Aspectos generales de la regulación 004/01 del CONELEC.**

Para el contexto de la presente investigación se tratara a la calidad de servicio eléctrico como ; la regulación mediante normativas de niveles admisibles de parámetros técnicos y comerciales inherentes a él, dentro de ellos solo se trata los primeros estos son; el voltaje, las perturbaciones de voltaje , y el factor de potencia, durante el proceso de regulación interviene un ente regulador, la empresa que suministra el servicio y el consumidor final.[1]

Estas normativas son propias de cada país aunque todas tienen una base técnica común, en el Ecuador la regulación que permite establecer estos criterios es la regulación 004/01 dictada por el CONELEC, la cual tiene sus fundamentos en la Ley de Régimen del Sector Eléctrico y sus reformas, el Reglamento Sustitutivo del Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, el Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica, el Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad y el Reglamento de Tarifas.

##### **1.1.1 Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE).[2]**

Los artículos de interés relacionados a la regulación 004/01 dentro de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico son los siguientes:



*“ Art. 1.- Deber del Estado.-*

*El suministro de energía eléctrica es un servicio de utilidad pública de interés nacional; por tanto, es deber del Estado satisfacer directa o indirectamente las necesidades de energía eléctrica del país, mediante el aprovechamiento óptimo de recursos naturales, de conformidad con el Plan Nacional de Electrificación.*

*Art. 12.- Constitución.-*

*Créase el Consejo Nacional de la Electricidad CONELEC, como persona jurídica de derecho público con patrimonio propio, autonomía administrativa, económica, financiera y operativa.*

*El CONELEC no ejercerá actividades empresariales en el sector eléctrico. Se encargará de elaborar planes para el desarrollo de la energía eléctrica. Ejercerá además todas las actividades de regulación y control definidas en esta Ley.*

*Tendrá su sede en la capital de la República, aprobará su estructura orgánica y los reglamentos internos que se requiera para su funcionamiento. Sus actuaciones se sujetarán a los principios de descentralización, desconcentración, eficiencia y desregulación administrativa que establece la Ley de Modernización.”<sup>1</sup>*

### **1.1.2 Reglamento Sustitutivo del Reglamento General de la LRSE [3]**

Dentro del LRSE se mencionara como artículo de interés el articulo 13 literal “e”, que trata de la siguiente manera:

*“ Art.13.- Funciones y Facultades. Al CONELEC le corresponde:*

---

<sup>1</sup> CONELEC, LEY\_ SECTOR\_ ELECTRICO\_CODIFICADA\_DICIEMBRE\_2010. Quito - Ecuador, 2010.

e) *Expedir regulaciones tendientes a:*

1. *Concentrar su función de contralor del concesionario de distribución de energía eléctrica sobre la calidad de servicio prestado, debiendo considerar, para ello, los siguientes lineamientos:*

1.1. *La calidad de servicio se define como el conjunto de normas que especifiquen la calidad de la energía eléctrica a suministrar (producto) y del servicio a prestar, desde el punto de vista técnico y comercial. La calidad del producto suministrado se relacionará con el nivel de tensión en el punto de alimentación y con sus perturbaciones (variaciones rápidas y caídas lentas de tensión y armónicas). La calidad del servicio desde el punto de vista comercial se medirá teniendo en cuenta el plazo empleado por el concesionario para dar respuesta a las solicitudes de conexión de servicio, los errores en la facturación y la frecuencia de facturación estimada.<sup>2</sup>*

### **1.1.3 Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad**

En el presente reglamento se disponen las normas generales en las que se desarrollara, la prestación de servicio eléctrico de distribución y comercialización, tanto en los aspectos técnicos como comerciales, regulando la relación entre distribuidor y consumidor.[4]

Los artículos relevantes para nuestra investigación son los siguientes:

*“Art. 5.- Defensa del Consumidor.- El Distribuidor, en la prestación del Servicio, observará y cumplirá las disposiciones que emanan de la Constitución y la Ley de Defensa del Consumidor en todo lo que sea aplicable. El Consumidor podrá reclamar ante el Distribuidor y en caso de inconformidad ante el CONELEC, la violación de sus derechos establecidos en la referida Ley, para lo cual deberá presentar los documentos que justifiquen su reclamo, sin perjuicio del ejercicio de las acciones que la Ley establezca*

---

<sup>2</sup> CONELEC, Reglamento Sustitutivo LRSE. Quito - Ecuador, 1996.

*para el caso de la indemnización por daños y perjuicios, que pudiesen ser ocasionados por la calidad deficiente del servicio prestado por el Distribuidor.*

*En caso de que el Distribuidor no cumpla con los niveles de calidad establecidos en las regulaciones pertinentes, estará obligado a resarcir todos los daños, previa verificación que efectuará el Distribuidor, de acuerdo a procedimientos que deberán ser aprobados por el CONELEC. El término dentro del cual el Distribuidor deberá realizar tal verificación será el de cinco días, contado a partir de la fecha de recepción del reclamo. La resolución que sobre estos reclamos tenga que dictar el Distribuidor, se la hará en el término de quince días, contados a partir de la fecha en que se realizó la verificación. En caso de que el Distribuidor no emita la resolución en el término indicado, su silencio se considerará que el reclamo presentado por el Consumidor ha sido aceptado.*

*Art. 10.- Nivel de Voltaje.- El CONELEC evaluará las variaciones de voltaje existentes en las redes del Distribuidor. El Distribuidor deberá efectuar pruebas mensuales de voltaje (V) en los puntos de entrega del 0,01% de los Consumidores de su sistema, por un período mínimo de siete días continuos.*

*El Distribuidor efectuará pruebas de voltaje por pedido del CONELEC o a solicitud de los Consumidores. Si como resultado de una solicitud escrita de los Consumidores, se verifica que los valores de voltaje están fuera de los límites permitidos, el Distribuidor podrá obtener del CONELEC un plazo definido para subsanar el desvío de los límites. Cumplido dicho plazo y si esto no se hubiere dado, será penalizado por el CONELEC, de acuerdo a lo establecido en el Capítulo IV del presente Reglamento.*

*Las variaciones de voltaje admitidas en los puntos de entrega de electricidad a los Consumidores, respecto al voltaje nominal serán establecidas en las Regulaciones pertinentes.*

*Art. 11.- Perturbaciones.- Las perturbaciones que se controlarán son las oscilaciones rápidas de voltaje (flicker), las distorsiones armónicas y cualquier otro parámetro que la experiencia demuestre que afecta la calidad del servicio.*

*El Distribuidor por su propia iniciativa, por reclamo de los Consumidores o exigencia del CONELEC, efectuará las mediciones y estudios necesarios para determinar el origen y las magnitudes de las perturbaciones.*

*Los procedimientos y metodología de medición y los límites permitidos para las perturbaciones, serán regulados por el CONELEC.*

*El Distribuidor podrá suspender el Servicio a los Consumidores cuyas instalaciones produzcan perturbaciones en el sistema de distribución que excedan los límites permitidos, hasta que se eliminen las causas de tales perturbaciones.*

*Art. 12.- Factor de Potencia.- El Distribuidor podrá efectuar mediciones del factor de potencia en períodos de integración horarios con el régimen de funcionamiento y cargas normales de las instalaciones de los Consumidores al nivel de voltaje primario y por un tiempo no menor a siete días.*

*Si la estadística de las mediciones efectuadas demuestra que el factor de potencia es inferior a 0,92 en retraso o adelanto, en más del 5% del período evaluado, el Distribuidor, a mas de establecer los recargos por consumo de energía reactiva señalados en el Reglamento de Tarifas, notificará al Consumidor tal circunstancia, otorgándole un plazo para la corrección de dicho factor.*

*Si una vez transcurrido el plazo al que se refiere el inciso inmediato anterior, el Consumidor no hubiere corregido la anormalidad, el Distribuidor estará facultado a realizar, por sí o por medio de terceros, las instalaciones necesarias para corregir dicho factor a costo del Consumidor. Estas instalaciones deberán incluir el control automático correspondiente para la conexión y desconexión, de acuerdo a los requerimientos de la carga.*

*Cualquiera sea el tipo de consumidor, cuando el valor medido del factor de potencia fuese inferior a 0,60, el Distribuidor, previa notificación, podrá suspender el servicio hasta tanto el Consumidor modifique sus instalaciones a fin de superar dicho valor.*

*De todas maneras el Distribuidor está obligado a instalar en su sistema los equipos de potencia reactiva que sean necesarios para mantener, en el punto de conexión al Sistema Nacional Interconectado, el factor de potencia dentro de los límites establecidos en el Reglamento de Despacho y Operación del Sistema Nacional Interconectado y el Manual de Despacho.”<sup>3</sup>*

#### **1.1.4 Regulación CONELEC - 004/01**

La regulación del CONELEC 004/01 ,tiene como objetivo establecer los niveles de calidad de servicio eléctrico de distribución, y los medios de evaluación aplicables a las Empresas Distribuidoras, las cuales tienen la responsabilidad de prestar el servicio eléctrico a los Consumidores ubicados en su zona de concesión, dentro de los niveles de calidad establecidos en la LRSE, los Reglamentos aplicables, el Contrato de Concesión y las regulaciones correspondientes, el CONELEC será el encargado de la supervisión y control del cumplimiento de los niveles de calidad de servicio, a través de los índices que se establecen en esta regulación. [1]

A continuación se detalla los índices a ser considerados para la medición de la Calidad de Servicio tomados textualmente de la regulación:

##### *“ 1.5 Aspectos de Calidad*

*La Calidad de Servicio se medirá considerando los aspectos siguientes:*

##### *Calidad del Producto:*

###### *a) Nivel de voltaje*

---

<sup>3</sup> CONELEC, Reglamento Suministro Electricidad. Quito - Ecuador, 1999. Páginas 2-5

- b) *Perturbaciones de voltaje*
- c) *Factor de Potencia*

*Calidad del Servicio Técnico:*

- a) *Frecuencia de Interrupciones*
- b) *Duración de Interrupciones*

*Calidad del Servicio Comercial:*

- a) *Atención de Solicitudes*
- b) *Atención de Reclamos*
- c) *Errores en Medición y Facturación*

## *1.6 Información*

*El Distribuidor debe implementar y mantener una base de datos con la información sobre los componentes de la red asociados a la alimentación eléctrica de cada Consumidor, esto es:*

*Red de AV.*

*Subestación de distribución AV/MV.*

*Circuito de MV.*

*Centros de transformación MV/BV*

*Circuito de bajo voltaje y ramal al que está conectado.*

*Identificación del cliente (número de suministro).*

*La tarea del levantamiento de la información necesaria para la determinación de los índices de calidad en las diversas etapas de control, será responsabilidad del Distribuidor. La información recopilada, deberá ser suficiente para permitir al CONELEC controlar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, en la presente Regulación y en el Contrato de Concesión.*

*El levantamiento de la información, su procesamiento y análisis, comprenderá:*

- a) Las mediciones y/o registros de cada uno de los aspectos identificados en 1.5, realizados en la forma señalada más adelante en los numerales 2 a 4;*
- b) La organización de una base de datos auditable que constituya el soporte de la información anterior;*
- c) El cálculo de los índices de calidad para cada uno de los parámetros; y*
- d) La información relacionada con los desvíos a los límites señalados en los numerales 2 a 4.*

*Toda la información sobre mediciones, pruebas y su procesamiento, deberá almacenar el Distribuidor por un período no inferior a tres años y estar a disposición del CONELEC.*

*La totalidad de la información levantada en las diversas etapas, referente a los controles de la calidad del servicio, deberá remitirse al CONELEC en forma impresa con su respectivo respaldo en medio magnético y en los formatos que éste determine.*

### *1.7 Definición de las Etapas de Aplicación*

*A fin de permitir a los Distribuidores adecuarse a las exigencias de calidad del servicio, la aplicación de la presente Regulación se ajustará a lo previsto en la Segunda Disposición Transitoria del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad.*

*Para la Etapa Final, se definen las siguientes Subetapas:*

*Subetapa 1: de 24 meses de duración.*

*Subetapa 2: tendrá su inicio a la finalización de la Subetapa 1, con una duración indefinida.*

*Con anterioridad al inicio de la Etapa Final no se aplicarán penalizaciones por los incumplimientos a las exigencias establecidas en la presente Regulación. El detalle de los*

*incumplimientos y las penalizaciones correspondientes se incorporarán en los respectivos contratos de concesión.”<sup>4</sup>*

## **1.2 Calidad del producto técnico.**

Los parámetros de calidad del producto técnico que serán controlados por la Regulación 004/01 son ; el nivel de voltaje, las perturbaciones de voltaje y el factor de potencia, para lo cual se especificaran para cada una de ellas tres puntos importantes como son; el índice de calidad, las mediciones y los límites establecidos , siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.[1]

### **1.2.1 Nivel de voltaje**

El hablar de nivel de voltaje se refiere a los niveles de alto voltaje (AV), medio voltaje (MV) y bajo voltaje (BV), definidos en la LSSE [4] en la que se tiene:

Bajo Voltaje: hasta 0,6 kV;

Medio Voltaje: entre 0,6 y 40 kV;

Alto Voltaje: mayor a 40 kV

#### **1.2.1.1 Índice de calidad**

El índice de calidad de voltaje se determina de la siguiente forma [1]:

---

<sup>4</sup> [1] CONELEC, “Calidad Del Servicio Eléctrico,” Ecuador. Páginas 3-4



$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k + V_n}{V_s} * 100 \quad (1)$$

Donde:

$\Delta V_k$ : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

$V_k$  : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

$V_n$  : voltaje nominal en el punto de medición.

### 1.2.1.2 Medición

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles, para tal fin el Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente [1]:

1. Un registro de voltaje en cada uno de los siguientes puntos de medición:
  - a) 20% de las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, no menos de 3.
  - b) 0,15% de los transformadores de distribución, no menos de 5.
  - c) 0,01 % de los Consumidores de Bajo Voltaje del área de concesión, no menos de 10.
  
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
  
3. Simultáneamente con el registro del voltaje se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.

4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

### 1.2.1.3 Límite

Cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje, el Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo. Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal son las siguientes [1]:

*Tabla 1.1 Límites de variaciones de voltaje*  
*Fuente: [1] CONELEC, "REGULACION No. CONELEC – 004/01," Ecuador, 2001.*

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	$\pm 7,0 \%$	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 10,0 \%$	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje. Rurales	$\pm 13,0 \%$	$\pm 10,0 \%$

## 1.2.2 Perturbaciones

### 1.2.2.1 Parpadeo (Fliker)

El parpadeo o flicker consiste en la variación periódica de la envolvente de la onda de tensión, está producido por cargas que demandan picos de corriente de forma rápida. Muchas veces este efecto puede ser imperceptible pero siempre es molesto ya que aunque no interfiere el funcionamiento de los equipos informáticos, sí que perjudica a los usuarios de esos equipos al afectar a las antiguas pantallas de tubo y a la iluminación, contribuyendo de forma significativa a la fatiga visual.[5]

#### 1.2.2.1.1 Índice de Calidad[1]

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas IEC; mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2)$$

Donde:

Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.

P0.1, P1,P3,P10,P50 : Niveles de efecto “flicker” que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

#### 1.2.2.1.2 Medición[1]

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.

4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Las mediciones se deben realizar con un medidor de efecto “Flicker” para intervalos de 10 minutos y de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 60868.

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de flicker, se efectuarán mediciones de monitoreo de flicker, de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo.

#### **1.2.2.1.3 Límite[1]**

El índice de severidad del Flicker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite  $Pst = 1$  como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

#### **1.2.2.2 Armónicos**

Las ondas de tensión y de intensidad en realidad no son perfectamente senoidales sino que presentan una cierta distorsión debido a la existencia de armónicos (señales senoidales de frecuencias múltiplos enteros de la fundamental y que se suman a la onda fundamental de 60Hz). Se considerará que el suministro de electricidad no cumple con el límite admisible arriba señalado, en cada punto de medición, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido en este numeral, por un tiempo superior al 5 % del período de medición de 7 días continuos. En los sistemas eléctricos de baja y de media tensión hay conectado un número cada vez mayor de cargas no lineales, es decir, de cargas en las que la relación entre la intensidad que circula por ellas y la caída de tensión entre sus terminales no se puede representar mediante una función lineal. El problema con este tipo de cargas radica en que al aplicar una tensión senoidal a una carga no lineal la corriente que

circula por ella es no senoidal. Además, muchas de ellas contienen sistemas de conmutación con componentes electrónicos de potencia que utilizan solo una parte de la onda de tensión y, en consecuencia, demandan corriente sólo en ciertos instantes, en forma de pulsos, lo que hace que la intensidad demandada e inyectada en la red esté fuertemente distorsionada. Esas corrientes no senoidales, a su vez, al circular por las impedancias de la propia red de alimentación, hacen que las caídas de tensión en ellas sean también no senoidales. En consecuencia, todo este proceso da lugar a que tanto las tensiones como las corrientes que hay en el sistema eléctrico de distribución sean no senoidales, aunque la tensión de alimentación sí lo sea.[5]

#### 1.2.2.2.1 Índice de Calidad[1]

$$Vi' = \left( \frac{Vi}{Vn} \right) * 100 \quad (3)$$

$$THD = \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} Vi^2}}{Vn} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

$Vi'$ : factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

$Vi$ : valor eficaz (rms) del voltaje armónico “i” (para  $i = 2... 40$ ) expresado en voltios.

$Vn$ : voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

#### 1.2.2.2.2 Medición[1]

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
4. En cada punto de medición, para cada mes, el registro se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7.

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de distorsiones armónicas, se efectuarán mediciones de monitoreo de armónicas, de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo.

#### **1.2.2.2.3 Límite[1]**

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales ( $V_i'$ ) y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite ( $V_i'$  y THD') señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

Tabla 1.2 Valores límites THDV

Fuente: [1] CONELEC, "REGULACION No. CONELEC – 004/01," Ecuador, 2001.

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
<b>Impares no múltiplos de 3</b>		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
<b>Impares múltiplos de tres</b>		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
<b>Pares</b>		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
<b>THD</b>	<b>3</b>	<b>8</b>

### 1.2.3 Factor de potencia

Es la relación que hay entre la potencia activa y la aparente. Es un indicativo del porcentaje de potencia aparente que se transforma en potencia activa. En el caso que no

exista potencia reactiva, circuito puramente resistivo, el valor de la potencia activa es igual al de la aparente ( $P = S$ ), y el factor de potencia es 1. Y en el caso de circuitos puramente inductivos (o capacitivos), donde no existe potencia activa ( $P = 0$ ), el valor de la potencia aparente es igual al de la potencia reactiva ( $S = Q$ ), el factor de potencia es entonces 0. Así, pues el factor de potencia es un valor que varía entre 0 y 1. [6]

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad (5)$$

Donde:

P ; Potencia activa

S : Potencia aparente

$\cos \varphi$  : coseno del ángulo de desfase entre la corriente y el voltaje

Los siguientes puntos acerca del factor de potencia fueron tomados textualmente de [1] :

#### **1.2.3.1 Índice de Calidad**

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.

#### **1.2.3.2 Mediciones**

Adicionalmente a las disposiciones que constan en el artículo 12 del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, el Distribuidor efectuará registros del factor de potencia en cada mes, en el 2% del número de Consumidores servidos en AV y MV. Las mediciones se harán mediante registros en períodos de 10 minutos, con régimen de funcionamiento y cargas normales, por un tiempo no menor a siete (7) días continuos.



### **1.2.3.3 Límite**

El valor mínimo es de 0,92.

## **1.3 La Matriz Energética del Ecuador**

Para el desarrollo y crecimiento económico de todo país la energía es un elemento fundamental, la evolución en tecnología y en los estilos de vida de las personas hacen necesaria una planificación estratégica en el sector energético. Para una correcta planificación un elemento básico es conocer y analizar la matriz energética con el fin de asegurar el abastecimiento energético.

El sistema energético tiene dos parámetros a ser considerados, estos son la demanda y la oferta de la energía, la interacción de estos dos dentro de un país son representados en balances energéticos que reflejan la estructura energética del mismo.

La matriz energética de un país es la información en que se cuantifica la oferta, demanda y transformación de las fuentes energéticas, está dentro de ella también el inventario de los recursos energéticos disponibles considerando su evolución y proyección, con lo que se puede conocer el potencial exportador y el grado de dependencia del país.

Dentro de este contexto el Ecuador apunta a un cambio en su matriz energética que tiene como objetivo ser un país autosuficiente y sustentable avanzando así, hacia una economía post petrolera.[7]

### **1.3.1 Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017**

El Plan Nacional del Buen Vivir es un documento que representa una postura política muy definida en el cual se encuentra directrices muy claras que permiten una planificación en base a la Constitución del Ecuador.

Dentro de ella uno de los puntos a tratar y la que nos interesa en esta investigación es el tema del cambio de la matriz energética y los puntos que ello involucra.

Algunos de los lineamientos estratégicos tomados textualmente del Plan Nacional del Buen vivir [8] son los siguientes:

*“ a. Aprovechar el potencial energético basado en fuentes renovables, principalmente de la*

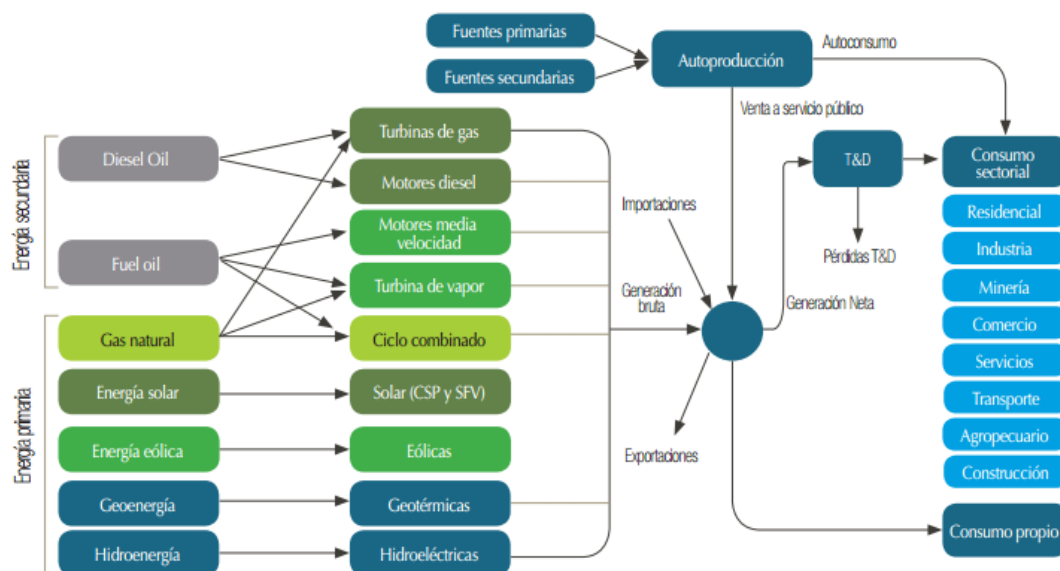
*hidroenergía, en el marco del derecho constitucional al acceso al agua y de la conservación del caudal ecológico.*

*d. Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios.*

*j. Generar alternativas, fortalecer la planificación e implementar regulación al uso energético en el transporte, los hogares y las industrias, para modificar los patrones de consumo energético, con criterios de eficiencia y sustentabilidad.”*

### **1.3.2 Balance Energético Nacional**

Para un país el balance energético es una herramienta fundamental dentro de la planificación para una correcta toma de decisiones, a continuación se muestra el flujo energético eléctrico.

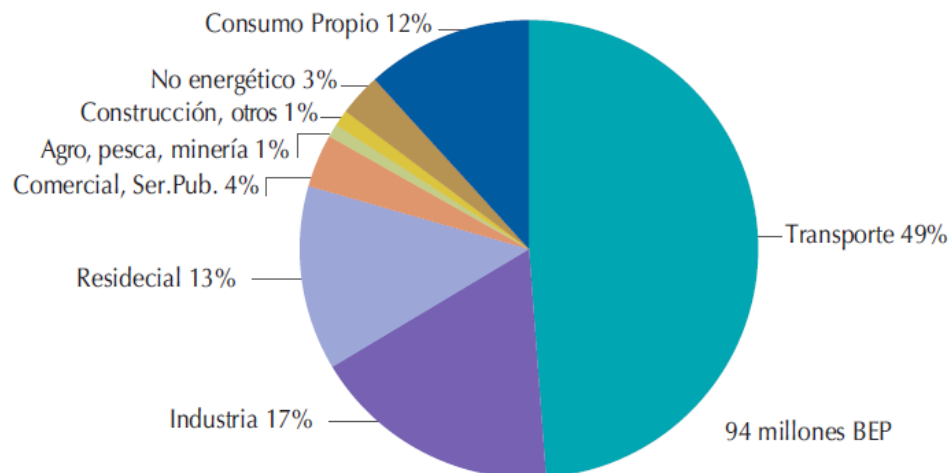


*Figura 1.1 Cadena de la energía eléctrica*

*Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, "Balance Energético Nacional 2013," Quito - Ecuador, 2013.*

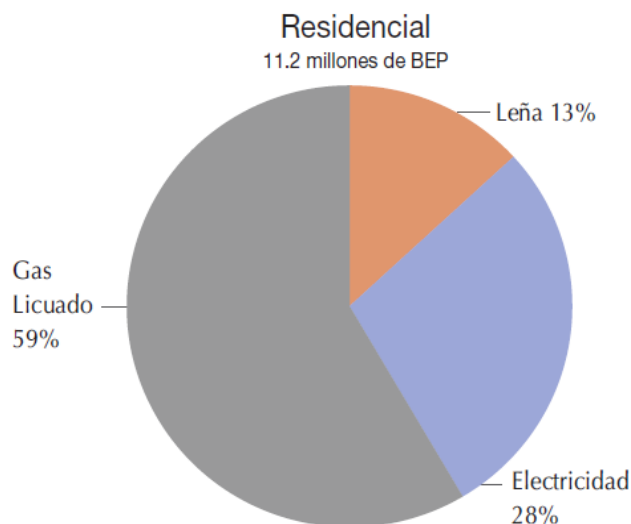
En la representación esquemática se observa la cadena de la energía eléctrica desde su transformación de fuentes primarias y secundarias sus importaciones exportaciones la autoproducción y el consumo final a las diferentes áreas, con lo que se puede tener una idea clara del flujo de la energía eléctrica en nuestro medio.

A continuación se presenta la demanda de energía final por consumidor y adicionalmente el consumo de los principales energéticos del sector residencial esto como información explicativa del porque se hace necesario un cambio en la matriz energética de nuestro país.



*FIGURA 1.2: Estructura del consumo por sectores*  
*FUENTE: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, "Balance Energético Nacional 2013," Quito - Ecuador, 2013.*

En la figura se puede observar que dentro de los tres mayores consumidores se encuentran el sector residencial con un 13% del consumo total.



*FIGURA 1.3: Consumo del sector residencial por tipo de fuente*  
*FUENTE: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, "Balance Energético Nacional 2013," Quito - Ecuador, 2013.*

Se puede visualizar que en el sector residencial el 59 % de su consumo es a través del GLP , recurso energético que es subsidiado por el estado, por lo que representa una gran pérdida económica.

En resumen se puede decir que el cambio de la matriz energética consiste en aumentar, de manera óptima y sustentable, las fuentes primarias de energía; al mismo tiempo cambiar las estructuras de consumo en el sector de transporte, residencial, comercial, que son los sectores más significativos en cuanto a consumo para que su uso sea racional y eficiente.[7]

### **1.3.3 Plan Maestro de Electrificación**

El Plan Maestro de electrificación es un documento que sirve como instrumento de gestión, en él se encuentran proyectos necesarios a corto mediano y largo plazo basados principalmente en recursos energéticos renovables con el fin de tener un uso eficiente de la energía.

Uno de los objetivos que se tiene que analizar por la temática de la presente investigación es ; “ *mejorar y expandir los sistemas de distribución y comercialización de energía eléctrica, para asegurar el suministro con calidad adecuada, considerando la migración de consumos de GLP y derivados de petróleo hacia la electricidad*”<sup>5</sup> , sobre todo en el sector residencial.

De la necesidad de mejorar la gestión de las empresas de distribución donde se evidencie un avance en la eficiencia y la eficacia se creó el proyecto SIGDE dentro del cual se tiene 5 puntos a tratar:

- Plan de mejoramiento de sistemas de distribución, PMD.
- Plan de reducción de pérdidas, PLANREP.
- Plan de Energización Rural y Electrificación Urbano Marginal, FERUM.
- Migración de la Cocción con el Uso de Gas Licuado de Petróleo a Electricidad debido al Cambio de la Matriz Energética.
- Plan Nacional de Soterramiento de Redes.

---

<sup>5</sup> CONELEC, Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022 volumen 1 ,página 3

Dentro de los dos puntos de interés a tratar están el PMD y la cocción eficiente. El PMD tiene como objetivo ampliar las redes de distribución enfocadas en el mejoramiento de la calidad de servicio , se está tomando en cuenta la proyección de la demanda al incluir al sistema cargas importantes como son el remplazo de las cocinas de GLP a las de inducción.[9]

El Plan Maestro de Electrificación establece que : “ *Para garantizar que la migración de GLP a electricidad tenga trascendencia, además de contar con suficiente energía eléctrica y a bajos costos en los próximos años, las inversiones consideran los componentes necesarios para la dotación del suministro a 220V, con un sistema de medición en el que se incluye acometida, equipo de medición, protección eléctrica y caja de protección para el contador de energía; además se debe incursionar en un programa de reforzamiento y modificación de las redes de distribución monofásicas a fin de, entre otras cosas, garantizar el abastecimiento a los consumidores, debido al cambio en el nivel de voltaje de los suministros.*”<sup>6</sup>

#### **1.4 Normas de las cocinas de inducción referente a la calidad del producto.**

El Instituto Ecuatoriano de Normalización tiene como competencia la normalización, reglamentación técnica y metrología, todo esto con el fin de brindar seguridad al consumidor y promover una mejora en el aspecto de calidad. Dentro de este contexto se han establecido las normas : RTE INEN 101, NTE INEN 2 555:2010, estas entre otras, relacionas con las cocinas de inducción y sus parámetros técnicos, las cuales se van a desarrollar a continuación.[10]

##### **1.4.1 Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 555:2010**

Esta norma establece ciertos requisitos de seguridad en las cocinas de inducción de uso doméstico cuya tensión nominal no supere los 250 V.

---

<sup>6</sup> CONELEC, Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022 volumen 1 ,página 61

Potencia y corriente: Los valores de potencia absorbida a temperatura de funcionamiento normal no debe ser diferente de la potencia nominal más del 15% o 60 W cualquiera sea el valor más elevado, la toma de corriente debe ser de por lo menos 1KWy no debe utilizarse junto con otro dispositivo conectado a la misma. Los valores de corriente a la temperatura normal de funcionamiento no debe diferir de la corriente nominal más de un 15% o 0,30 A, cualquiera sea el valor más elevado, la corriente de fuga a temperatura de funcionamiento no debe ser excesiva y su rigidez dieléctrica debe ser apropiada. [11]

Sobretensiones transitorias: las sobretensiones transitorias son básicamente aumentos elevados de tensión, por el orden de los KV , de duración muy corta en el orden de los microsegundos, los mismos que pueden ser originados principalmente por descargas atmosféricas, o conmutaciones de dispositivos en la red eléctrica.

Respecto a este parámetro la norma establece que la cocina de inducción ,debe ser diseñada para soportar sobretensiones , generadas desde un dispositivo especificado según norma IEC 61180-2, y la tensión de ensayo de impulso va desde 400v a 12000 V.[11]

Rotulado: Las cocinas de inducción deben tener una placa de identificación en la que conste como requisitos mínimos los siguientes:

- Nombre del fabricante
- País de origen
- Modelo
- Número de serie
- Tensión, expresada en voltios
- Frecuencia expresada en Hertz
- Amperaje nominal, expresado en amperios
- Potencia nominal, expresada en vatios

#### **1.4.2 Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101**

Esta norma establece los requisitos relacionados a prevenir riesgos en la seguridad y la salud de las personas y previenen malas prácticas de operación y funcionamiento en las cocinas de inducción de uso doméstico cuya diferencia de potencial este comprendida entre los 180V Y 250V.

Uno de los parámetros de la calidad del producto técnico es el THD, dentro de esta reglamentación se establece la definición de la distorsión armónica total THD como; “ *la relación entre el contenido armónico de la señal y la primera armónica o fundamental. Su valor se ubica entre 0% e infinito. Es el parámetro de medición de distorsión más conocido, por lo que es recomendable para medir la distorsión en parámetros individuales (I y V)*”<sup>7</sup>.

Los artefactos que se encuentran detallado en este reglamento anexo 2 deben cumplir las condiciones locales tanto de frecuencia como de diferencia de potencial eléctrico, incluso en caso de fluctuaciones interrupciones o reanudación del suministro de energía eléctrica, actualmente las condiciones para el uso de cocinas de inducción son 60HZ y 220 voltios de diferencia de potencial eléctrica nominales.[12]

Dentro de la referencia [12] se encuentran los siguientes puntos de interés para esta investigación :

- La tolerancia para la potencia declarada será  $\pm 10 \%$ .
- La potencia máxima instantánea demandada de la red por los artefactos electrodomésticos para cocción por inducción en ningún momento podrá superar el equivalente a los 7200W.
- La Distorsión Armónica Total (THD) no podrá superar el 3% con respecto a la fundamental para la diferencia de potencial eléctrica y 5% para la corriente en operación normal del equipo.
- El Factor de Potencia tiene que ser igual o mayor a 0,98 en operación normal del equipo.
- Por seguridad del usuario se debe indicar en el panel de control la temperatura residual mediante una señal visual de alerta.

---

<sup>7</sup> INEN, RTE 101, Quito-Ecuador, pagina 7-8





- Los artefactos electrodomésticos para cocción por inducción de sobremesa deben tener una estabilidad adecuada, de tal manera que al ser utilizadas sobre una superficie inclinada máximo de 10° de la horizontal no se vuelquen ni se deslicen.
- El control en el encendido y apagado de las zonas de cocción de los aparatos de inducción debe realizarse mediante la operación de un mismo elemento de mando que debe estar identificado y, cuya funcionalidad evite que sea accionado accidentalmente.
- El aislamiento de los conductores internos debe tener una resistencia térmica de, al menos, 105°C.
- El rotulado en cada artefacto contemplado en este Reglamento Técnico debe ser legible a simple vista, debe estar en idioma español, sin perjuicio a que se pueda incluir adicionalmente esta información en otro idioma. La información a verificar es la siguiente:
  - a. Placa de identificación
  - b. Etiquetas de advertencia
  - c. Etiqueta de eficiencia energética.
- Placa de identificación. La información debe incluir lo siguiente:
  - La diferencia de potencial eléctrica asignada o el rango de diferencias de potencial eléctrica asignada, en voltios;
  - El símbolo de la naturaleza de la corriente, salvo que esté indicada la frecuencia asignada;
  - La potencia asignada, en vatios, o la corriente asignada en amperios;
  - El nombre, la marca comercial o la marca de identificación del fabricante o vendedor responsable;
  - El modelo o la referencia de tipo;
  - RUC del fabricante o del importador, según sea aplicable;
  - Dirección del consignatario del producto.
- El elemento de mando para el encendido y apagado de las zonas de calentamiento debe identificarse mediante uno de los dos símbolos indicados en la figura 4.



*Figura 1.4 Símbolo de apagado/encendido*

*FUENTE: INEN, Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101. Quito - Ecuador, 2014, pp. 1–19*

- Etiqueta de eficiencia energética. La etiqueta debe ir adherida al equipo y no debe moverse del producto hasta después de que esta haya sido adquirida por el consumidor final y debe estar ubicada en el equipo en un lugar visible al consumidor.

			
Eficiencia energética (%)		≥ 85	
Consumo de energía en modo de espera (W)		≤ 1 W	

*Figura 1.5: Ejemplo de la información de la eficiencia energética*

*FUENTE: INEN, Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101. Quito - Ecuador, 2014, pp. 1–19.*

Dentro de esta norma existen además; los métodos de ensayo para la evaluación de la conformidad, el campo de aplicación, las definiciones, y la clasificación. Estos entre otros puntos de interés.

## CAPITULO 2

### 2 COCCIÓN EFICIENTE POR INDUCCIÓN

En este capítulo se abordara lo referente al principio de funcionamiento de las cocinas de inducción, las leyes físicas que intervienen en el proceso de calentamiento y los componentes necesarios para su funcionamiento, adicionalmente se resumirá el programa implementado por el gobierno para la inclusión de cocinas de inducción en nuestro país y las ventajas que traen consigo dicha implementación.

#### 2.1 Principio de calentamiento por inducción.

El sistema de calentamiento por inducción, se basa en el principio de inducción electromagnética, proceso que consiste en inducir una corriente sobre un material, mismo que debe tener una alta permeabilidad magnética, a través del campo magnético producido por una bobina de alambre, que es excitada al fluir por ella una corriente eléctrica alterna, a altas frecuencias (20 – 100 KHz), el calor generado se debe a las corrientes de Eddy que aparecen en el proceso. A continuación se detallara ciertos principios físicos a tomar en cuenta, para entender de mejor manera cómo se produce el calentamiento por inducción.[13]

##### 2.1.1 Ley de inducción de Faraday

La fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en un circuito, es directamente proporcional a la rapidez de cambio en el tiempo, del flujo magnético a través del circuito. Este enunciado es conocido como la ley de inducción de Faraday. [14]

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (6)$$

En donde  $\phi_m$  es el flujo del campo magnético. Por tanto, para que aparezca una f.e.m. inducida, debe variar el flujo de campo magnético a través de la superficie delimitada por el conductor.[15]

### **2.1.2 Ley de Lenz**

El signo menos de la ley de Faraday, indica el sentido que va a llevar la corriente inducida, y se conoce como la Ley de Lenz, la misma que dice; *“La f.e.m. inducida y la corriente inducida, tiene un sentido tal que se opone al cambio que las produce.”*<sup>8</sup>. La ley de LENZ explica que; la corriente inducida en un circuito, tendrá un sentido tal que, el campo magnético generado por dicha corriente, compense la variación del flujo que le ha causado.[15]

### **2.1.3 Corrientes de Foucault**

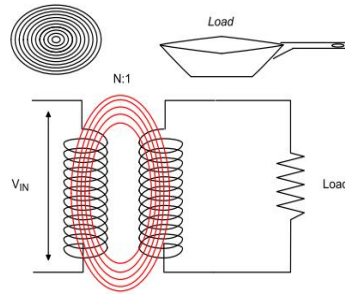
Cuando una pieza sólida metálica es atravesada por un flujo magnético variable, se inducen en su interior corrientes de Foucault o también llamadas de Eddy. Con frecuencia este tipo de corrientes son indeseables, ya que crean pérdidas de energía a través del efecto Joule.[14]

### **2.1.4 Cocción por inducción**

En una estufa de inducción, una bobina de alambre de cobre es colocada debajo de la olla de cocción. Una corriente eléctrica alterna de alta frecuencia fluye a través de la bobina, la cual produce un campo magnético oscilante. Este campo induce una corriente eléctrica en la olla. La corriente que fluye en la olla de metal produce calentamiento resistivo, el cual calienta el alimento. La parte principal de los sistemas de calentamiento de inducción, es la electrónica, es una combinación de elementos digitales de potencia y control.[16]

---

<sup>8</sup> P. Tipler and G. Mosca, Física para la ciencia y la tecnología Volumen 2, Sexta. España, 2013, página 986.



*Figura 2.1 Equivalente de un sistema de inducción*  
*FUENTE: O. Semiconductor, "Induction Cooking Everything You Need to Know," Phoenix, Estados Unidos, AND9166/D, 2014.*

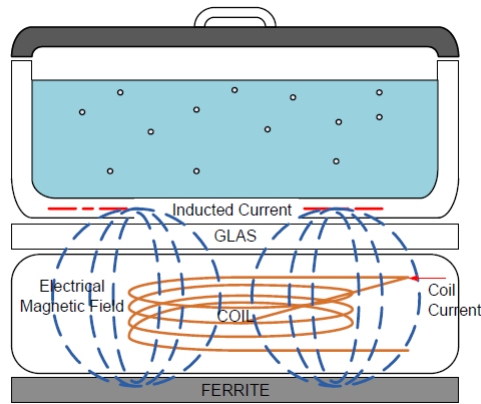
En el gráfico (figura 2.1) se muestra la equivalencia del sistema completo, el mismo que puede ser representado por un transformador eléctrico, en el que el devanado primario lo constituye la bobina de alambre de cobre y el secundario la parte inferior de la olla.

Las corrientes que son inducidas por el primario a la parte inferior de la ollas son llamadas corrientes de Foucault o de Eddy, que se disipan en forma de calor por efecto Joule. De la frecuencia y el tipo de material de que estén hechas las ollas dependerá la potencia disipada. Además en materiales magnéticos se tiene que tomar en cuenta la propiedad de histéresis magnética que se la podría definir de la siguiente manera ; “*Cuando un material ferromagnético, sobre el cual ha estado actuando un campo magnético, cesa la aplicación de éste, el material no anula completamente su magnetismo, sino que permanece un cierto magnetismo residual*”<sup>9</sup>. Las pérdidas por esta propiedad dependen de la intensidad del campo magnético en el material y del área de la curva de histéresis.[17]

Cuando un conductor es atravesado por una corriente alterna ,la distribución no es uniforme dentro de él, la tendencia es dirigirse hacia la superficie del conductor y depende directamente de la frecuencia de la corriente. Este efecto llamado pelicular o Skin determina la profundidad hasta la cual circula la corriente dentro del material, este efecto

<sup>9</sup> “HISTÉRESIS CAPITULO VII.-MAGNETISMO.” [Online]. Available: <http://www.ifent.org/lecciones/cap07/cap07-06.asp>. [Accessed: 11-Jan-2015].

debe mantener un equilibrio entre la frecuencia y la potencia disipada, ya que a mayor frecuencia menor profundidad pero mayor disipación de potencia. [16]



*Figura 2.2 Esquema de una cocina de inducción*  
*FUENTE: O. Semiconductor, "Induction Cooking Everything You Need to Know," Phoenix, Estados Unidos, AND9166/D, 2014.*

En la figura 2.2 se puede observar un resumen del funcionamiento de las cocinas de inducción, al alimentar a una bobina con una corriente, la misma genera un campo magnético, este a su vez induce corrientes en la base de la olla, que por efecto de joule produce el calor necesario para su cumplir con su función.

## **2.2 Componentes de un sistema de calentamiento por inducción.**

En la actualidad se cuenta con elementos electrónicos de potencia como son los BJT , MOSFET, IGBT que han permitido el desarrollo de la cocción por inducción. El sistema de control necesario para un equipo de inducción es aquel que proporciona frecuencias entre 20 a 100 KHz, el esquema básico de los compontes de una cocina de inducción es el que se muestra en la figura siguiente:

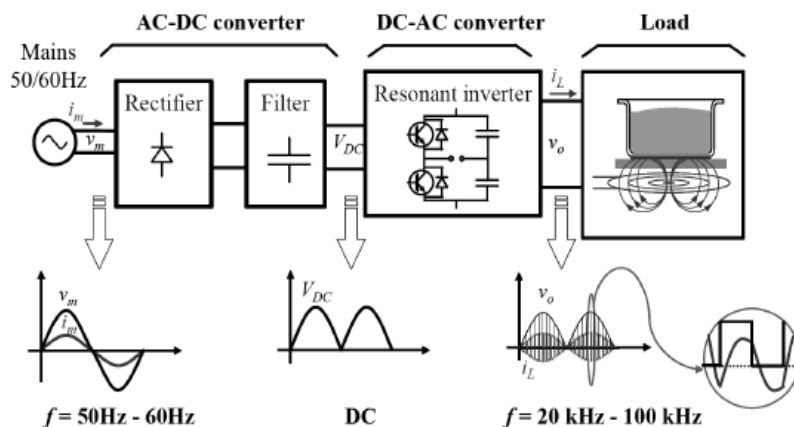


Figura 2.3: Esquema de componentes de una cocina de inducción  
FUENTE: J. N. Hincapié, A. Trejos, and M. E. Moncada, "Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico : revisión del estado del arte," 2013.

Se puede apreciar que consta de tres partes básicas, el conversor de corriente alterna a directa, el conversor de corriente directa a alterna y por su puesto la carga. Al inicio el cambio de la señal de voltaje en onda completa se lo hace mediante la rectificación de un puente de diodos y un filtro capacitivo, el nivel de voltaje directo con su correspondiente rizado, alimenta el conversor directo alterno, o inversor de alta frecuencia, conformado por un circuito resonante RLC y unos interruptores de potencia, que se prenden o apagan de acuerdo a las señales de control generadas por las estrategias de modulación y control. En operación normal, el inversor suministra a la bobina de trabajo, una corriente variable en el tiempo para la generación del campo magnético, encargado de calentar el recipiente (olla de material ferromagnético) mediante la inducción de corrientes. La carga se compone del sistema bobina de inducción y el recipiente a calentar.[18]

### 2.3 Programa de Cocción Eficiente en el Ecuador.

El Programa de Cocción Eficiente, consiste en la incorporación de 3,5 millones de cocinas eléctricas durante el período 2015 - 2017 y de 1,54 millones entre el 2018 y 2022. La migración hacia la cocción con energía eléctrica y en general el cambio de la matriz energética del país, se sustentan en un abastecimiento basado principalmente en fuentes renovables de generación. De ahí que, actualmente se encuentren en ejecución proyectos

con aproximadamente 2.900 MW de oferta hidroeléctrica, entre los principales: Paute - Sopladora, Toachi - Pilaton, Manduriacu, Delsitanisagua, Quijos, Minas - San Francisco y Coca Codo Sinclair; y, alrededor de 300 MW en proyectos fotovoltaicos. Según la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, ARCH, en el 2011, el consumo de GLP del sector doméstico fue de 929.505 toneladas. Se asume que el 80%, 743.604 toneladas de GLP se destina para la cocción de alimentos.[19]

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, a través de las empresas eléctricas, está reforzando las redes e instalando acometidas y medidores a 220 voltios sin costo para los abonados, existiendo al momento en todo el país aproximadamente 1'300.000 hogares que ya disponen de este servicio; este componente demanda una inversión de alrededor de USD 485 millones y terminará en el primer semestre de 2016. Adicionalmente, para que se pueda utilizar las cocinas de inducción en los hogares ecuatorianos se va a necesitar la instalación de un tomacorriente a 220 voltios en el área de la cocina, la cual podrá ser realizada por técnicos particulares o solicitada a la empresa eléctrica; en este último caso, el costo de la instalación podrá ser financiado por el Estado hasta 36 meses de plazo y pagado a través de la planilla eléctrica. No se necesita modificar los actuales tomacorrientes a 110 voltios y los electrodomésticos se podrán conectar normalmente.[21]

A partir de agosto de 2014 las cocinas eléctricas de inducción y los respectivos juegos de ollas están ya disponibles para la ciudadanía, a través de los fabricantes y las casas comerciales. El Estado otorgará financiamiento a los abonados que lo requieran, para la adquisición de kits de inducción y duchas o calefones eléctricos calificados para participar en el Programa, en condiciones favorables de plazo e interés. El monto total de este financiamiento será recuperado en un plazo de hasta 36 meses mediante el cobro a través de la planilla eléctrica, de manera que los beneficiarios del financiamiento pagarán mensualmente valores que podrían fluctuar entre USD 6 y USD 18, dependiendo del tipo y precio del kit de inducción que decidan adquirir; también estarán disponibles otros mecanismos de pago directo por parte de los abonados (contado, tarjeta de débito, crédito directo, descuento de rol de pagos, tarjeta de crédito, etc.). En cualquier caso, serán los ciudadanos quienes decidan cuándo y cómo adquirir los artefactos, de manera que todos los



hogares ecuatorianos podrán beneficiarse del proyecto sin importar la zona geográfica o los niveles socioeconómicos a los que pertenezcan.

El Programa incluye también un fuerte incentivo tarifario, puesto que todos los hogares que migren del GLP a la electricidad para la cocción de sus alimentos en cocinas de inducción, recibirán gratuitamente de las empresas eléctricas hasta 80 kWh mensuales (incrementales) de energía hasta el año 2018; si también migran a la electricidad para el calentamiento de agua para uso sanitario, recibirán además gratuitamente hasta 20 kWh mensuales (incrementales). Posteriormente, estos componentes de energía consumida específicamente para cocción y calentamiento de agua serán facturados a solo 4 centavos por kWh. [20]



Figura 2.4 : Pantalla de registro al programa

FUENTE: MEER, “Programa de eficiencia energética para cocción por inducción.” [Online]. Available: <https://www.energia.gob.ec/cocinas-de-induccion/>.

En la figura 2.4 se puede observar la pantalla de inicio del sitio WEB administrado por el Ministerio de Energía Eléctrica y Renovable, en la cual se puede registrar para acceder al Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de agua con Electricidad, al registrarse se puede solicitar ; una inspección para verificar si el domicilio ya cuenta con ; acometida y medidor bifásico (220V), circuito interno a 220V, con el fin de que la Empresa Eléctrica deje listo el domicilio para el uso de la cocina.

Adicionalmente al solicitar la inspección se verificara si en el domicilio ya se tiene la cocina de inducción y/o un equipo de calentamiento eléctrico de agua, esto con el fin de recibir el incentivo tarifario de hasta 80Kwh/mes para la cocina de inducción y hasta 20Kwh/ mes para el calentador eléctrico de agua. Para registrarse los únicos requisitos son: tener en su domicilio un suministro eléctrico con tarifa residencial , la cédula de ciudadanía y la plantilla de consumo de energía del domicilio.[20]

## **2.4 Ventajas de la cocción por inducción**

La ventajas de la cocción por inducción se las puede dividir en dos sub grupos :

- Para el usuario :
  - Cocción segura: debido su fuente de energía y su aplicación eficaz en los utensilios de cocina, se evita el riesgo de quemaduras, explosiones, intoxicaciones y asfixia.
  - Rapidez en la cocción de alimentos: esto se debe a la alta eficiencia en la transferencia de calor, el tiempo de cocción respecto a la cocina de GLP es aproximadamente el 40% menos.
  - Energía disponible en el tomacorriente: Ya que su fuente de alimentación es la electricidad se la puede tomar directamente de un tomacorriente adecuado, lo que con las cocinas a gas se tenía la necesidad de movilizar los cilindros para abastecerse del mismo.
  - Fácil limpieza: otro de los puntos favorable es la higiene, debido a su superficie lisa (vitocerámica) y el punto a favor que esta no se sobrecalienta evita que restos de alimentos se carbonicen en ella, haciendo que solamente se tome unos minutos en su limpieza.
  - Detección automática del recipiente : Las cocinas de inducción tienen incorporada un sistema de control electrónico que permite detectar cuando esta sobre ella un recipiente adecuado para su funcionamiento, caso contrario nos muestra un mensaje de error en la pantalla digital evitando así consumos innecesarios y evitando riesgos de quemaduras.
- Para el país :
  - Energía renovable: las cocinas de inducción funcionan con electricidad si esta es producida por un recurso hídrico que es una fuente de energía renovable, se evita el consumo de combustibles fósiles para el calentamiento

- Menos contaminación ambiental: al no utilizar combustibles fósiles para su funcionamiento no hay asociados a él, impacto severo al medio ambiente.
- Energía propia del país: al ser una energía generada internamente en el país no se hace necesaria su importación como es en el caso de las cocinas a gas.
- Incentivo tarifario: quienes adquieran cocinas de inducción recibirán hasta 80 Kwh de energía gratis por parte del gobierno.

## **CAPITULO 3**

### **3 PRUEBAS DE LABORATORIO**

En este capítulo se especificarán las características técnicas de los instrumentos utilizados para llevar a cabo las mediciones respectivas, además se presentarán los formatos en los cuales serán registrados dichos datos, se detallarán las pruebas realizadas teniendo en cuenta las variables de entrada adecuadas enfocadas en el resultado final propuesto, que es confirmar en qué manera podría afectar el uso de las cocinas de inducción a la red eléctrica.

#### **3.1 Plan de pruebas y equipos necesarios**

Para el desarrollo de la investigación se utilizará la metodología cuantitativa. Sus principales exponentes son: Investigación descriptiva, Investigación analítica e Investigación experimental.

Se utilizará las normas detalladas previamente a lo largo de la investigación y la experimentación con el fin de conocer el comportamiento de las variables a tratar como son; el voltaje, las perturbaciones de voltaje, y el factor de potencia.

##### **3.1.1 Plan de pruebas**

Se utilizó las cocinas de inducción que se encuentran en la universidad Politécnica Salesiana. Para el buen desempeño de la investigación los instrumentos de medición fueron los adecuados y requeridos. El análisis y las conclusiones se realizaron luego de haber obtenido, filtrado, y depurado los datos.

Se utilizó como método de investigación la inducción, la cual permite a partir del estudio de hechos aislados arribar a proposiciones generales, esto mediante el procedimiento de la medición, que se realiza con el objetivo de obtener información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas.

Para este caso las propiedades del objeto o fenómeno serán cuantitativas, que se miden directamente para después ser procesadas estadísticamente, estas serán; voltaje , corriente, factor de potencia, y armónicos.

Por otro lado siendo el experimento el método empírico para el estudio de un objeto, en el cual el investigador crea las condiciones o adapta las existentes, para el esclarecimiento de las propiedades, leyes y relaciones del objeto, para verificar una hipótesis, una teoría o un modelo, será la herramienta a ser utilizada.[21]

Para la realización del experimento se necesitó de una planificación adecuada , donde se tuvo en cuenta los siguientes factores [22]:

1.- Decidir cuántas variables independientes y dependientes deberán incluirse en el experimento deben incluirse solo las variables que sean necesarias para probar las hipótesis, alcanzar los objetivos y responder las preguntas de investigación.

Variable independiente: La variable independiente es aquella que se puede manipular es la causa para que se produzca un efecto; en el presente experimento se tiene como variables independientes las siguientes ; nivel de potencia de la encimera de inducción, el tiempo de cocción, el volumen de líquido a ser calentado.

Variable dependiente: La variable dependiente es aquella que se mide, es el efecto que se produjo la variable independiente (causa); en el presente experimento se tiene como variables dependientes las siguientes; nivel voltaje, factor de potencia, y los armónicos producidos. Adicionalmente se tiene; la potencia activa, la corriente. Estos últimos como valores de referencia para comparación de cuando estuvo funcionando la cocina de inducción y cuando no.

2.- Elegir los niveles de manipulación de las variables independientes y traducirlos en operaciones concretas. Este paso requiere que un concepto teórico se convierta en una serie

de operaciones que habrán de realizarse para administrar uno o varios tratamientos experimentales.

En la investigación se procedió a variar el nivel de potencia (1– 9) de al menos 3 de los inductores disponibles en la encimera, adicionalmente se realizó una prueba en la que al mismo nivel de potencia se varié el volumen del líquido, y finalmente otra de las pruebas consistirá en dejar un periodo de cocción más largo incrementando el nivel de potencia de manera escalonada, todas ellas con el fin de llegar al objetivo planteado.

3.- Desarrollar el instrumento o los instrumentos para medir la(s) variable(s) dependiente(s).

Se desarrolló una hoja de recolección de datos (Excel), para registrar los valores de las variables independientes, para el registro de las variables dependientes se tuvo la ayuda de un equipo de medición, que permite captura de históricos y pueden ser exportados a una hoja de Excel o a su vez puede ser utilizado el mismo software del equipo para el análisis posterior de los datos.

4.- Describir cronograma de ejecución de las pruebas y prepruebas si existieran.

Para las tomas de lecturas se dispuso de 18 días, de lunes a sábado en horario de disponibilidad que se ha proporcionado los laboratorios de la U.P.S. , estos será de lunes a viernes de 17:00 a 21:00 y sábados de 7:30 a 15:00 , en los primeros 6 días se procederá a realizar prepuebas, esto con el fin de familiarizarnos con el equipo de medición (Fluke), la manera de evacuar y recolectar el líquido, la forma de operación de la encimera, y asegurarnos que el punto de energía eléctrica a ser ocupado sea el correcto. Todo esto con el fin de los siguientes 12 días tener una medición optima y adecuada para los fines pertinentes.

### 3.1.2 Equipos utilizados

#### 3.1.2.1 Analizador de calidad de energía trifásico Fluke.



Figura 3.1: Equipo de medición Fluke 435

FUENTE : “Analizadores de la energía y de la calidad eléctrica 435 Serie II Fluke.” [Online]. Available: <http://www.fluke.com/Fluke/eces/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Electrica/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939>. [Accessed: 06-Feb-2015].

La figura muestra el analizador de calidad de energía trifásico Fluke modelo 435, mismo que nos permitirá obtener las mediciones correspondientes a las variables de voltaje, armónicos y factor de potencia entre otros, a continuación se presentan algunas características técnicas de interés del mismo:

#### Armónicos:

Armónicos mide y registra armónicos e interarmónicos hasta el 50°. Se miden los datos relacionados, como componentes de CC, THD (distorsión total por armónicos) y factor K. Los armónicos son distorsiones periódicas de las ondas sinusoidales de potencia, corriente o tensión. Una forma de onda puede considerarse una combinación de varias ondas sinusoidales con diferentes frecuencias y magnitudes. La forma en que estos componentes afectan a la señal es el parámetro de medida. Las lecturas pueden mostrarse como porcentaje del fundamental, como porcentaje de todos los armónicos combinados (valor

rms) o como valor rms. Los resultados se pueden visualizar en una pantalla de gráfico de barras, una pantalla de multímetro o una pantalla de tendencias.

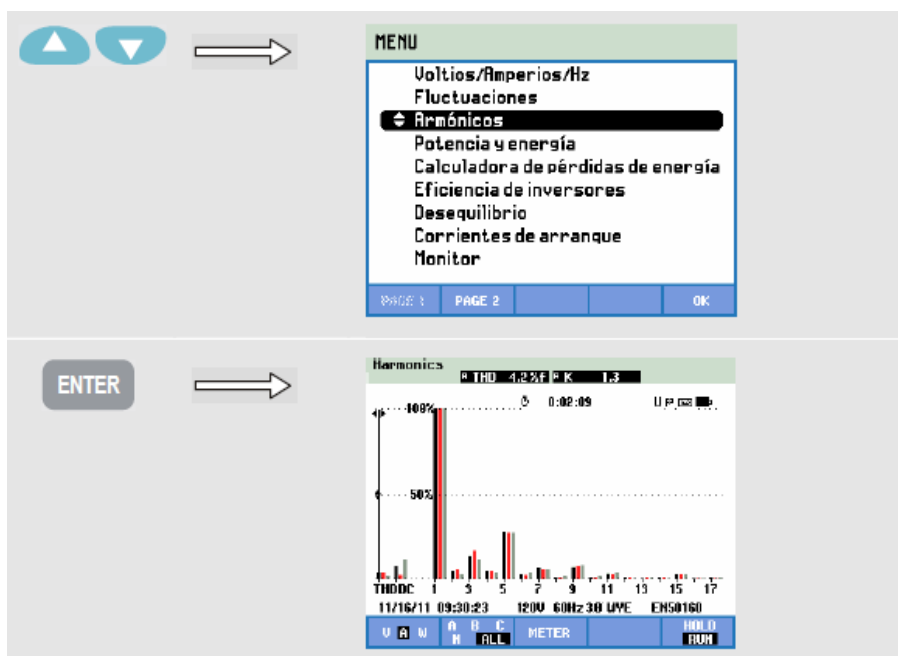


Figura 3.2: Pantalla de menú de armónicos  
 FUENTE : Fluke, "Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II." EE.UU., p. 182, 2012.

La pantalla de gráficos de barras muestra el porcentaje de contribución de cada uno de los componentes relacionados con la señal total. Una señal sin distorsión debe mostrar un 1er armónico (= el fundamental) al 100% mientras los otros están a cero: en la práctica, esto no ocurrirá, puesto que siempre hay una determinada cantidad de distorsión, lo que provoca armónicos más altos.

El número de armónicos indica la frecuencia de los armónicos: el primer armónico es la frecuencia fundamental (60 o 50 Hz), el segundo armónico es el componente con dos veces la frecuencia fundamental (120 o 100 Hz), etc. La secuencia de armónicos puede ser positiva (+), cero (0) o negativa (-). En la tabla siguiente se proporciona una visión general.



*Tabla 3.1 Correspondencia de armónicos, frecuencia, y secuencia*  
Fuente: Fluke, "Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II." EE.UU., p. 182, 2012.

Orden	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Frecuencia	60 Hz	120 Hz	180 Hz	240 Hz	300 Hz	360 Hz
Secuencia	+	-	0	+	-	0
Orden	7°	8°	9°	10°	11°	..... ....
Frecuencia	420 Hz	480 Hz	540 Hz	600 Hz	660 Hz	..... ....
Secuencia	+	-	0	+	-	..... ....

Los armónicos de secuencia positiva intentan que un motor funcione más deprisa que el fundamental, mientras que los armónicos de secuencia negativa intentan que el motor funcione más lentamente que el fundamental. En ambos casos, el motor pierde par y se calienta. Los armónicos también pueden provocar que los transformadores se sobrecalienten. Los armónicos pares desaparecerán si las formas de onda son simétricas; es decir, igualmente positivas y negativas.

Los armónicos de corriente de secuencia cero se añaden en conductores de neutro. Esto puede hacer que estos conductores se sobrecalienten.

Distorsión. Se debe esperar que se produzca distorsión de la corriente en un sistema con cargas no lineales como suministros eléctricos de CC. Cuando la distorsión de la corriente comienza a causar distorsión de la tensión (THD) superior al 5%, ello indicará la existencia de un posible problema.[23]

Voltios/Amperios/Hz:

Para acceder a la pantalla de multímetro VOLTIOS/AMPERIOS/HZ:

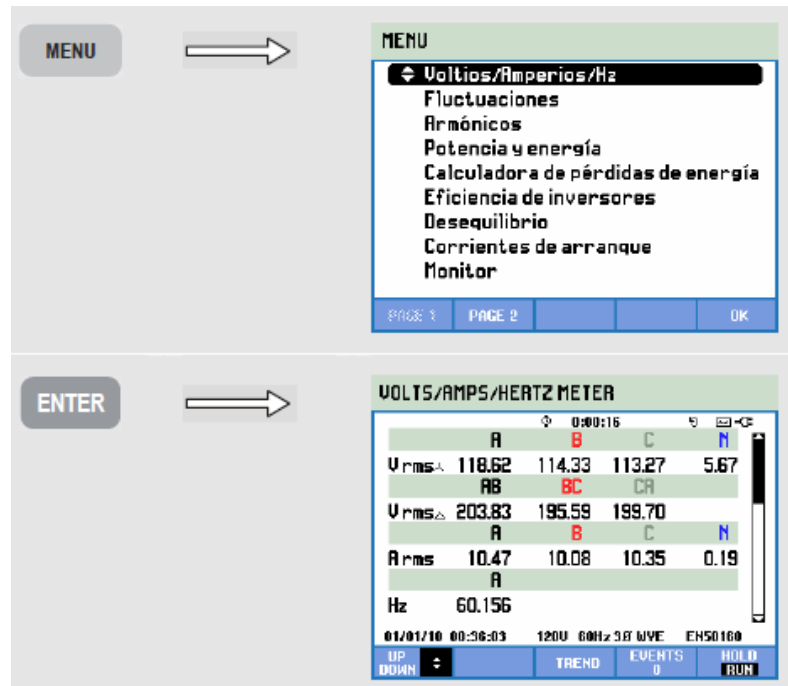


FIGURA 3.3: Pantalla de menu de Voltios/Amperios/Hz  
FUENTE: Fluke, "Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II." EE.UU., p. 182, 2012.

La pantalla de multímetro ofrece un resumen de las tensiones y corrientes en todas las fases. Las tensiones rms se muestran de neutro a línea y de línea a línea. El número de columnas de la pantalla de multímetro depende de la configuración del sistema de alimentación. Utilice las teclas de flecha arriba/abajo para desplazarse por la pantalla de multímetro. Los valores de la pantalla de multímetro son los valores en curso y, por tanto, pueden actualizarse constantemente. Los cambios en estos valores en un intervalo de tiempo se registran al activar la medida. El registro se puede ver en la pantalla de tendencia.[23]

Potencia y energía:

Para acceder a la pantalla de multímetro Potencia y energía:

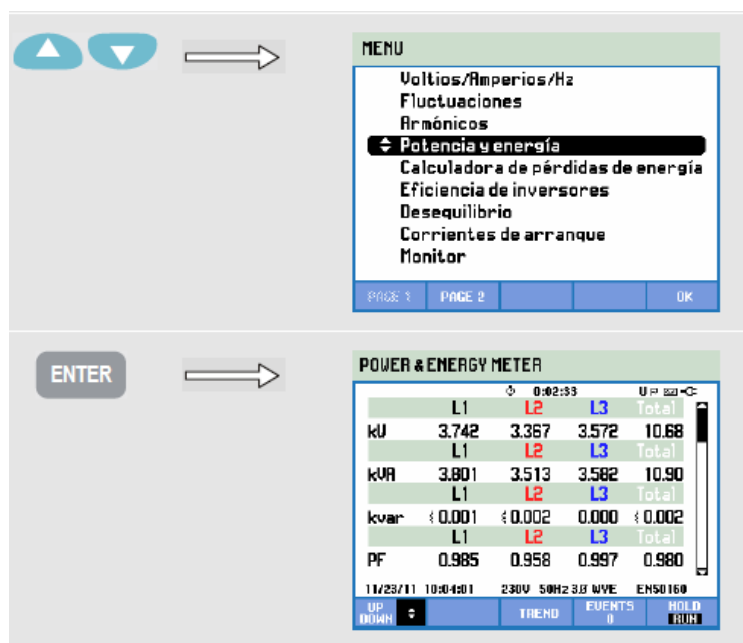


FIGURA 3.4: Pantalla de selección de potencia y energía  
FUENTE: [1] Fluke, "Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II." EE.UU., p. 182, 2012.

Se realizó las siguientes medidas de potencia:

- Potencia real (W, kW): medida como se registra normalmente mediante contadores de uso de energía. Se utiliza el espectro completo.
- Potencia aparente (VA, kVA): se utiliza el espectro completo.
- Potencia reactiva (var, kvar): se utiliza la frecuencia fundamental.
- Potencia de armónicos (VA o kVA Harm): potencias de frecuencia no fundamental.
- Potencia de desequilibrio (VA o kVA Unb): parte de desequilibrio de la potencia real.
- Potencia real fundamental (W o kW fund): se utiliza la frecuencia fundamental.

- Potencia aparente fundamental (VA, kVA fund): se utiliza la frecuencia fundamental.
- $\cos \phi$  o DPF:  $\cos \phi$  es el ángulo de fase entre la corriente y la tensión fundamental. DPF es  $(W \text{ fund})/(VA \text{ fund})$ .

Interpretación del factor de potencia al medirse en un dispositivo:

- $PF = 0$  a  $1$ : no toda la potencia suministrada se consume; hay una determinada cantidad de potencia reactiva. La corriente se adelanta (carga capacitiva) o se demora (carga inductiva).
- $PF = 1$ : el dispositivo consume toda la potencia suministrada. La tensión y la corriente están en fase.
- $PF = -1$ : el dispositivo genera potencia. La corriente y la tensión están en fase.
- $PF = -1$  a  $0$ : el dispositivo genera potencia. La corriente se adelanta o se demora.

Si se observa lecturas de potencia negativas y está conectado a una carga, compruebe que las flechas existentes en las pinzas amperimétricas se orientan hacia la carga.

La potencia reactiva (VAR) se debe más a menudo a cargas inductivas como motores, inductores y transformadores. Los VAR inductivos se pueden corregir si se instalan condensadores de corrección. Consulte a un ingeniero cualificado antes de incorporar condensadores de corrección de PF, especialmente si mide armónicos de corriente en el sistema.[23]

### 3.1.2.2 Encimera de inducción



*Figura 3.5: Encimera de inducción modelo Ei 4PVI60  
FUENTE: Propia del autor*

En la figura 3.5 se puede apreciar la encimera de inducción que se utilizó para el desarrollo de las pruebas se detalla a continuación algunos de los requerimientos para su instalación tomados de la página web del fabricante [24] ;

- La instalación del medidor bifásico debe ser solicitado a la Empresa Eléctrica de su localidad.
- El voltaje en la red eléctrica debe estar entre 198 – 300 V.
- Se debe tener conexión a tierra (varilla de Copperweld)
- Debe usar un breaker omnipolar exclusivo para la encimera.
- El diámetro de los cables de conexión deben estar de acuerdo con el consumo: alambre para fases AWG 8 – para tierra AWG 10 .
- La conexión de la red debe ser efectuada con el enchufe original de la encimera sin adaptadores
- La instalación debe efectuarse por un técnico calificado.

- Debe contar con recipientes adecuados para inducción.

Los datos de placa de la encimera de inducción que se va a utilizar se describen a continuación:

*Tabla 3.2 Características generales, encimera de inducción EI-4PVI60*

*Fuente: Indurama, “Manual de instrucciones para instalación y uso encimeras de inducción.” Quito - Ecuador, p. 24, 2014.*

Información General	Touch control con 10 niveles de potencia
	Encimera con tablero vitrocerámico de fácil limpieza
	Temporizador/ Apagado automático
	Sensor inteligente de recipientes
	Bloqueo para niños
	Máxima eficiencia energética
	Regatones estabilizadores
	Función Booster en dos inductores
Potencia	Potencia máxima : 63000 W ( con booster )
	Voltaje : 220 VAC
Inductores:	
	I1: 14,5 cm 1100 W/1400 W I2: 14,5 cm 1400 W
	I3: 21 cm 1850 W/2100 W I4:14,5 cm 1400 W
	*Para cada inductor primer valor potencia nominal
	valor siguiente potencia con booster
Modelo:	EI - 4PVI60
Frecuencia	50/60 Hz

Las pruebas preliminares se llevaron a cabo con una cocina de inducción de menor potencia pero con similares características, algunas de las pruebas efectuadas se encuentran en los anexos, se trabajó con la cocina de 6400 W ya que está en un nivel medio de las que se ofertaran en el país.

### 3.2 Formatos para registro de resultados

Las siguientes tablas sirven para el control y registro de las pruebas a realizadas.

*Tabla 3.3: Formato de registro #1*

*Fuente : Propia del autor*

								parametros medidos					
Nombre del archivo	HIP	HEC	HAC	HFP	inductor #	NP	VA	V	I	P	THD	FP	PE (90°C
prueba n	hh:mm	hh:mm	hh:mm	hh:mm	1 al 4	1 al 9							

En la tabla 3.4 se registran los datos obtenidos del resultado de variar el nivel de cocción de los inductores con un mismo volumen de agua.

*Tabla 3.4: Formato de registro #2*

*Fuente: Propia del autor*

									parametros medidos					
Nombre del archivo	HIP	HEC	HAC	HFP	$\Delta t$	inductor #	NP	VA	V	I	P	THD	FP	PE (90°C)
prueba 30	13:46	13:53	14:20	14:25	3 min	1 al 4	9	1 lt	x	x	x	x	x	sc
prueba 31	14:28	14:35	15:05	15:10	5 min	1 al 4	1 al 9	1 lt	x	x	x	x	x	sc

En la tabla 3.5 se registran los datos obtenidos del resultado de variar progresivamente el nivel de cocción y encender en un intervalo de tiempo, el número de inductor.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

HPI :	Es la hora de inicio de la prueba
HEC:	Hora de encendido de la cocina
HAC:	Hora de apagado de la cocina
HFP :	Hora de fin de prueba
Inductor# :	es el número de inductor (foco) de la cocina
NP :	Nivel de potencia del inductor
VA:	Volumen de agua





### 3.3 Desarrollo de las pruebas



*Figura 3.7 Equipo utilizado durante las pruebas  
FUENTE: Propia del autor.*

En la figura 3.7 se puede observar los materiales y equipos, utilizadas para llevar acabo las mediciones respectivas. Las primeras pruebas se anotan en el formato de registro # 1, la descripción de la misma se detalla a continuación:

- Para el inicio de las pruebas se procede a conectar la cocina a una toma adecuada de 220 V con su correspondiente protección (breaker), y el calibre de conductor adecuado.
- Se conecta el equipo de medición Fluke, con una configuración 1Ø tierra interrumpida sin neutro, la cual nos sirve para medir tensiones bifásicas sin neutro.
- Se procede a llenar con 1 litro de agua el recipiente de material ferromagnético que cubra en su totalidad al inductor (14,5 cm), esto con el fin de aprovechar la totalidad de su eficiencia.
- El termómetro digital al igual que el intervalo de tiempo nos ayudara a tener un punto de referencia para poder apagar la cocina.

- Se registra la hora de inicio de la prueba, desde este punto se inicia con las mediciones con el fin de obtener datos de la red sin aun la conexión de la encimera.
- Luego de transcurrido un tiempo de aproximadamente 5 minutos se procede a encender la encimera, tomando el tiempo en que fue encendido esto con el fin de poder apreciar el cambio si existiese de las variables dependientes.
- Se registra lo ocurrido hasta que el agua alcance su punto de ebullición o pasen más de 15 minutos cualquiera de las cosas que ocurriera primero, registrando el tiempo en el que fue apagada la encimera.
- Se espera un tiempo aproximado de 5 minutos con el medidor tomado datos de la red y se finalmente se procederá a apagarle registrando el tiempo como finalización de la prueba.
- Para llenar el formato de registro #2 se cumplirán los pasos anteriores con una modificación.
- Se procede a calentar el agua, encendiéndoles a intervalo de tiempo a cada uno de los inductores a nivel 9. Con esto verificaremos el comportamiento de la encimera en su máximo de potencia.
- Seguidamente en una prueba final se realizara el mismo procedimiento del paso anterior con la diferencia que además de variar el encendido de los inductores, también se variara el nivel de potencia de cada una de ellas.

### **3.4 Registro de variables de entrada y resultados de salida**

A continuación se muestran los formatos de registro tanto de las variables dependientes (entrada), como las independientes (salida), con datos reales obtenidos en las diferentes pruebas.

Tabla 3.6 Registro #1 variables independientes  
Fuente: Propia del autor

								parametros medidos						
Nombre del archivo	HIP	HEC	HAC	HFP	inductor #	NP	VA	V	I	P	THD	FP	PE (90°C)	
prueba 1	18:07	18:12	19:04	19:13	1	1	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba2	19:14	19:19	19:24	19:28	1	9	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba3	19:29	19:33	19:44	19:48	1	8	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba4	19:49	20:29	20:43	20:47	1	7	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba5	17:25	17:30	17:58	18:04	1	6	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba6	18:05	18:14	19:34	19:42	1	5	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba7	19:44	19:46	19:56	20:02	1	4	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba8	20:03	20:07	20:17	20:22	1	3	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba9	20:28	20:33	20:38	20:48	1	2	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 10	18:22	18:27	18:32	18:38	2	9	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba11	18:39	18:45	18:53	18:58	2	8	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba12	18:59	19:05	19:16	19:21	2	7	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba13	19:22	19:29	19:55	20:00	2	6	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba14	20:11	20:16	20:21	20:28	2	5	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba15	20:29	20:34	20:39	20:44	2	4	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba16	8:07	8:14	8:20	8:27	2	3	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 17	8:28	8:33	8:38	8:48	2	2	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 18	8:50	8:55	9:05	9:12	2	1	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 19	9:13	9:18	9:22	9:27	3	9	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba 20	9:28	9:34	9:39	9:44	3	8	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba 21	9:45	9:52	10:02	10:09	3	7	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba 22	10:12	10:19	10:38	10:45	3	6	1lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba 23	10:47	10:52	10:57	11:02	3	5	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 24	11:03	11:08	11:15	11:26	3	4	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 25	12:04	12:09	12:15	12:20	3	3	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 26	12:21	12:26	12:33	12:38	3	2	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba 27	12:39	12:47	12:52	12:57	3	1	1lt	x	x	x	x	x	nc	
prueba28	12:59	13:04	13:10	13:15	3	9	2lt	x	x	x	x	x	sc	
prueba29	13:16	13:21	13:37	13:42	3	9	3lt	x	x	x	x	x	sc	

Tabla 3.7 Registro #2 variables independientes  
Fuente: Propia del autor

									parametros medidos					
Nombre del archivo	HIP	HEC	HAC	HFP	$\Delta t$	inductor #	NP	VA	V	I	P	THD	FP	PE (90°C)
prueba 30	13:43	13:50	14:17	14:22	3 min	1 al 4	9	1 lt	x	x	x	x	x	sc
prueba 31	14:25	14:32	15:02	15:07	5 min	1 al 4	1 al 9	1 lt	x	x	x	x	x	sc

Tabla 3.8 Registro de variables dependientes  
Fuente: Propia del autor

Fecha	Hora	Tensión L12 Med	Corriente L1 Med	PF Clásico Total Med	THD V L12 Med	THD A L1 Med
07/02/2015	14:24:44.847	219,27	1	0,05	0	3,64
07/02/2015	14:25:44.847	219,15	1	0,11	0	2,75
07/02/2015	14:26:44.847	219,12	1	0,08	0	2,73
07/02/2015	14:27:44.847	219,12	1	0,07	0	2,74
07/02/2015	14:28:44.847	219,16	1	0,07	0	2,72
07/02/2015	14:29:44.847	219,57	1	0,06	0	2,73
07/02/2015	14:30:44.847	219,3	1	0,07	0	2,72
07/02/2015	14:31:44.847	219,06	1	0,07	0	2,7
07/02/2015	14:32:44.847	219,08	5	0,77	0	0,67
07/02/2015	14:33:44.847	218,68	5	0,95	0	0,04
07/02/2015	14:34:44.847	218,42	5	0,95	0	0,04
07/02/2015	14:35:44.847	219,03	5	0,95	0	0,04
07/02/2015	14:36:44.847	218,37	9	0,97	0	0,02
07/02/2015	14:37:44.847	217,7	11	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:38:44.847	217,57	11	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:39:44.847	217,66	11	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:40:44.847	217,5	11	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:41:44.847	216,32	17	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:42:44.847	216,5	17	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:43:44.847	216,54	17	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:44:44.847	216,84	17	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:45:44.847	217,06	17	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:46:44.847	215,7	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:47:44.847	216,2	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:48:44.847	216,18	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:49:44.847	216,51	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:50:44.847	216,24	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:51:44.847	215,88	23	1	0	0,01
07/02/2015	14:52:44.847	215,98	23	1	0	0,01
07/02/2015	14:53:44.847	215,95	23	1	0	0,01
07/02/2015	14:54:44.847	216,14	23	1	0	0,01
07/02/2015	14:55:44.847	216,24	23	1	0	0,01
07/02/2015	14:56:44.847	215,7	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:57:44.847	216,03	24	1	0	0,01
07/02/2015	14:58:44.847	217,09	18	0,99	0	0,01
07/02/2015	14:59:44.847	216,84	21	0,99	0	0,01
07/02/2015	15:00:44.847	216,15	24	1	0	0,01
07/02/2015	15:01:44.847	217,28	21	0,83	0	0,1
07/02/2015	15:02:44.847	220,35	1	0,09	0	0,49
07/02/2015	15:03:44.847	220,19	1	0,09	0	0,49
07/02/2015	15:04:44.847	220,34	1	0,09	0	0,49
07/02/2015	15:05:44.847	220,22	1	0,09	0	0,49
07/02/2015	15:06:44.847	219,97	1	0,08	0	0,49
	COCINA APAGADA					
	COCINA ENCENDIDA					

## **CAPITULO4**

### **4 TRATAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS**

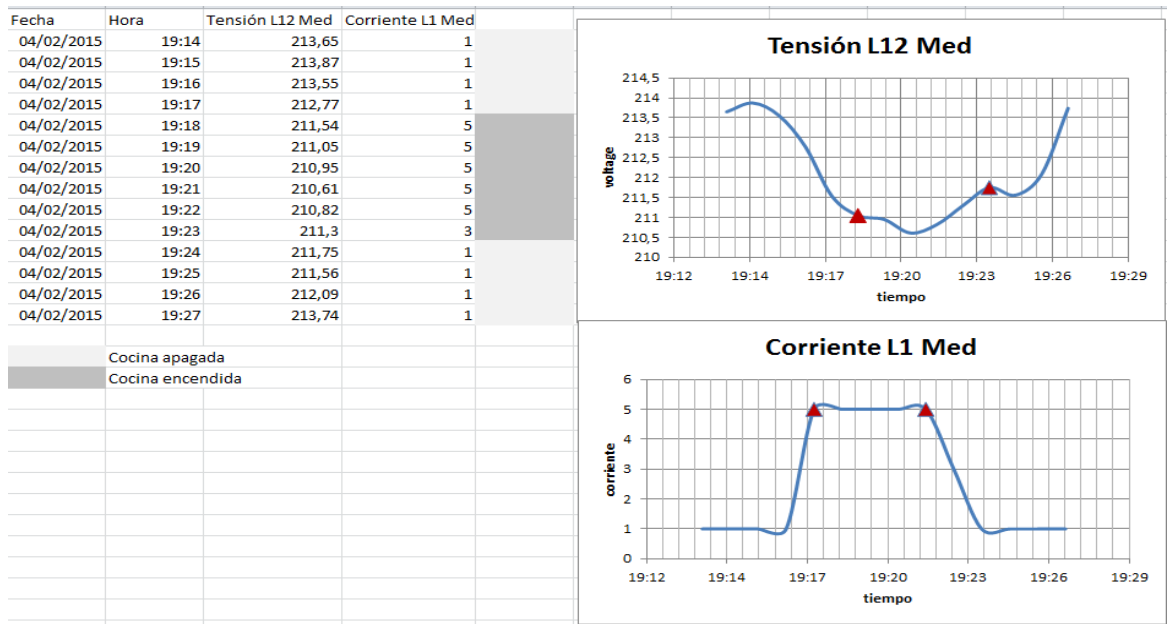
En este capítulo se depuraran y procesaran los datos medidos previamente, para proceder con su análisis, se compararan los datos iniciales con los finales, para observar si existieron cambios que permitan conocer los efectos que se producen en la red eléctrica al momento de la utilización de las cocinas de inducción.

En la comparación del estado inicial con el final podría ocurrir que los niveles de la calidad del producto mejoren, no cambie o empeore, sin embargo cualquier resultado que se obtenga será válido pues demostrara que es lo que ocurre con los parámetros técnicos de la calidad de producto, cuando entra en funcionamiento la cocción por inducción.

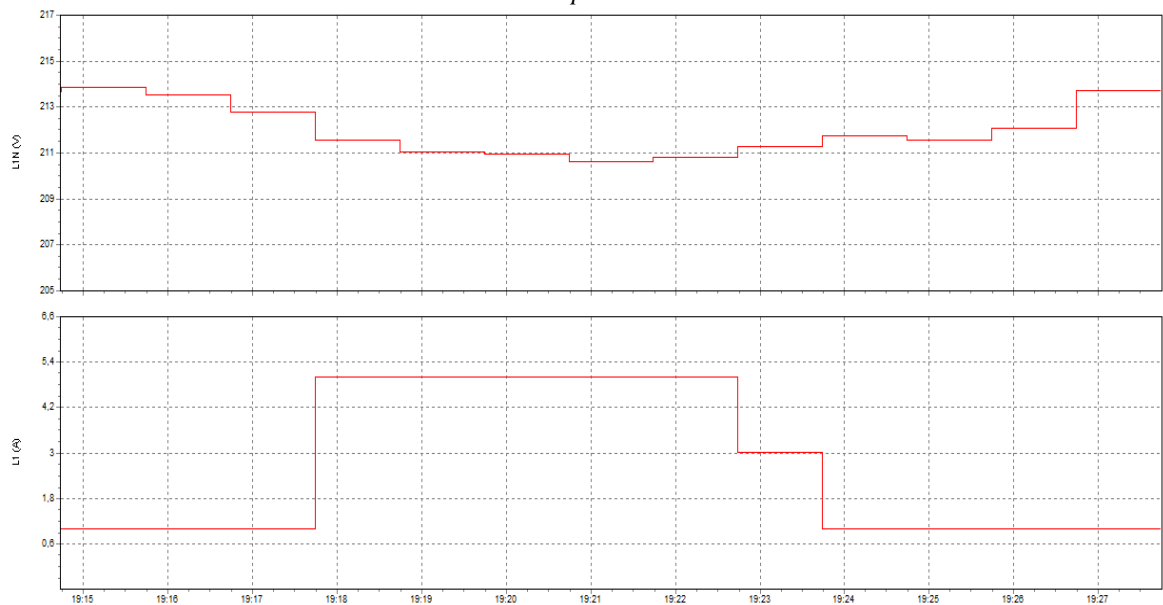
#### **4.1 Procesamiento y depuración de resultados**

Para iniciar con la depuración se exporta los datos obtenidos a través del equipo de medición de calidad de energía, a una hoja de cálculo de Excel, esto con el fin de filtrar solo las variables que nos interesan analizar, además de mostrar los resultados de una manera más amigable y comprensible.

En las figuras 4.1 y 4.2 que se muestra a continuación, se puede observar el comportamiento de las variables de voltaje y corriente, al momento de inicio de la prueba (cocina apagada), al transcurso de la prueba (cocina encendida) y al final de la misma (cocina apagada). Se lo expone tanto en la hoja de Excel, como en el programa Power Log 4.3.1.



*FIGURA 4.1: Ejemplo de tabla generada en Excel voltaje y corriente  
Fuente: Propia del autor*



*FIGURA 4.2: Ejemplo de datos registrados voltaje y corriente en Power Log 4.3.1  
Fuente: Power Log 4.3.1*

Esto se lo realiza con cada una de las pruebas para obtener una información clara acerca de los resultados.

Posteriormente se agrupara las diferentes pruebas teniendo en cuenta características similares, con el fin de sacar conclusiones efectivas de lo realizado. Algunas de ellas serán; mismos niveles de potencia, horario en las que fueron realizadas, y volumen de agua utilizado.

*Tabla 4.1 Ejemplo de mediciones con características similares*

*Fuente: Propia del autor*

								parametros medidos					
Nombre del archivo	HIP	HEC	HAC	HFP	inductor #	NP	VA	V	I	P	THD	FP	PE (90°C)
prueba 1	18:07	18:12	19:04	19:13	1	1	1 lt	x	x	x	x	x	nc
prueba2	19:14	19:19	19:24	19:28	1	9	1 lt	x	x	x	x	x	sc
prueba3	19:29	19:33	19:44	19:48	1	8	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba4	19:49	20:29	20:43	20:47	1	7	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba5	17:25	17:30	17:58	18:04	1	6	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba6	18:05	18:14	19:34	19:42	1	5	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba7	19:44	19:46	19:56	20:02	1	4	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba8	20:03	20:07	20:17	20:22	1	3	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba9	20:28	20:33	20:38	20:48	1	2	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 10	18:22	18:27	18:32	18:38	2	9	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba11	18:39	18:45	18:53	18:58	2	8	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba12	18:59	19:05	19:16	19:21	2	7	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba13	19:22	19:29	19:55	20:00	2	6	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba14	20:11	20:16	20:21	20:28	2	5	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba15	20:29	20:34	20:39	20:44	2	4	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba16	8:07	8:14	8:20	8:27	2	3	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 17	8:28	8:33	8:38	8:48	2	2	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 18	8:50	8:55	9:05	9:12	2	1	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 19	9:13	9:18	9:22	9:27	3	9	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba 20	9:28	9:34	9:39	9:44	3	8	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba 21	9:45	9:52	10:02	10:09	3	7	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba 22	10:12	10:19	10:38	10:45	3	6	1lt	x	x	x	x	x	sc
prueba 23	10:47	10:52	10:57	11:02	3	5	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 24	11:03	11:08	11:15	11:26	3	4	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 25	12:04	12:09	12:15	12:20	3	3	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 26	12:21	12:26	12:33	12:38	3	2	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba 27	12:39	12:47	12:52	12:57	3	1	1lt	x	x	x	x	x	nc
prueba28	12:59	13:04	13:10	13:15	3	9	2lt	x	x	x	x	x	sc
prueba29	13:16	13:21	13:37	13:42	3	9	3lt	x	x	x	x	x	sc

En la tabla 4.1 se puede ver la una de las maneras que se utilizara para agrupar las diferentes pruebas, resaltado en color azul se encuentran diferentes inductores, encendidos en un mismo nivel de potencia (9), las prueba 28 y 29 , a pesar de también estar a nivel 9 no se les tomo en cuenta para esta agrupación, ya que tienen un diferente volumen de agua.

Se eliminó varias de las pruebas por las siguientes razones :

- Valores negativos de potencia activa (dirección invertida de la sonda amperométrica).
- Valores de voltaje línea - neutro, para nuestro caso lo correcto es medir entre líneas.
- Energía eléctrica tomada de una fuente variable (variac), valores herrados por no ser precisa.
- Valores erróneos de voltaje debido a mala configuración de equipo de medición.
- Tiempo de registro de datos inadecuados (muy largos), no se apreciaban los cambios.
- Variables registradas sin interés para la presente investigación.
- Medidas tomadas sin un respectivo control (horarios de inicio y finalización de pruebas).

## **4.2 Análisis de resultados**

Se procederá a realizar un análisis por separado de los parámetros descritos para la calidad de producto, empezando por el nivel de voltaje.

### **4.2.1 Nivel de voltaje**

Para el análisis de este parámetro se tiene como consideración, que los limites correspondientes, por las condiciones donde se llevaron a cabo las pruebas, serán los reglamentados para un nivel de bajo voltaje (menores de 0,6 kV), en una zona urbana , y estos límites , según la regulación del CONELEC 004/001 son de +/- 8,0 % de variación del voltaje nominal.

La Empresa Eléctrica Quito dentro de las Normas para Sistemas de Distribución Parte A consideran a los voltajes de servicio a los valores nominales para circuitos secundarios

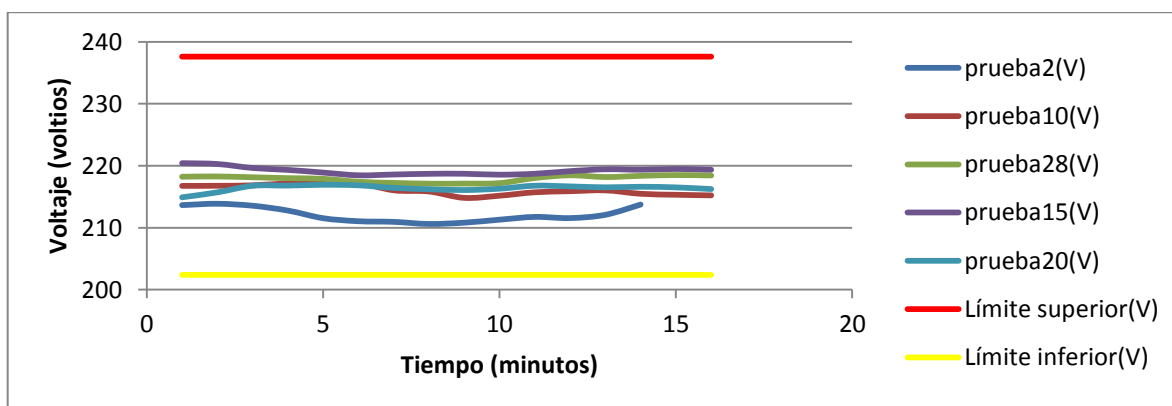


trifásicos 220/127 V. Estos valores son tomados en cuenta ya que son los que teóricamente tendría que tener la cocina de inducción para su funcionamiento. A continuación se presenta el resumen del comportamiento del voltaje, con los datos obtenidos y sus graficas correspondientes:

*Tabla 4.2: Tabla modelo de comportamiento del voltaje durante las pruebas*  
Fuente: Propia del autor

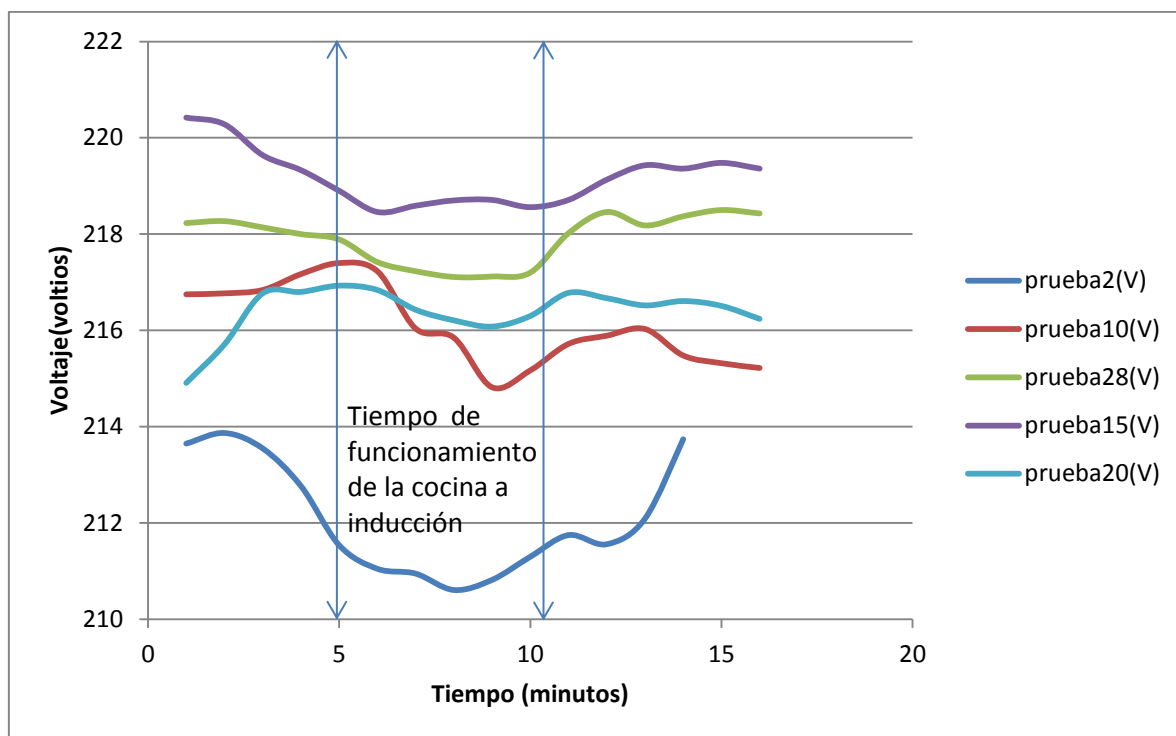
tiempo (minutos)	prueba2(V)	prueba10(V)	prueba28(V)	prueba15(V)	prueba20(V)	Límite superior(V)	Límite inferior(V)	
1	213,65	216,75	218,23	220,42	214,91	237,6	202,4	
2	213,87	216,77	218,27	220,28	215,71	237,6	202,4	
3	213,55	216,84	218,14	219,64	216,77	237,6	202,4	
4	212,77	217,17	218	219,33	216,8	237,6	202,4	
5	211,54	217,4	217,89	218,9	216,93	237,6	202,4	
6	211,05	217,23	217,42	218,46	216,84	237,6	202,4	
7	210,95	216,04	217,23	218,59	216,43	237,6	202,4	
8	210,61	215,85	217,11	218,7	216,21	237,6	202,4	
9	210,82	214,82	217,12	218,71	216,08	237,6	202,4	
10	211,3	215,17	217,2	218,56	216,3	237,6	202,4	
11	211,75	215,72	218,02	218,71	216,78	237,6	202,4	
12	211,56	215,89	218,46	219,13	216,67	237,6	202,4	
13	212,09	216,03	218,18	219,43	216,52	237,6	202,4	
14	213,74	215,48	218,37	219,36	216,61	237,6	202,4	
15		215,32	218,5	219,48	216,51	237,6	202,4	
16		215,22	218,43	219,36	216,24	237,6	202,4	
	Cocina apagada							
	Cocina encendida							

Los valores de las pruebas registrados en la tabla 4.2, se realizaron en un nivel de cocción 9 para diferentes inductores.



*FIGURA 4.3: Comportamiento del voltaje en comparación con los límites de la regulación*  
FUENTE: Propia del autor

En la figura se puede observar, que a pesar que el comportamiento del nivel de voltaje es en forma descendente no supera los límites establecidos por la regulación.



*FIGURA 4.4: Comportamiento del nivel de voltaje con la cocina de inducción en funcionamiento*  
*FUENTE: Propia del autor*

La figura 4.4 evidencia un comportamiento del nivel de voltaje, con una variación descendente, durante el periodo en que la cocina de inducción está encendida, el nivel de cocción establecidas en estas pruebas es de 9, que representa una potencia de 1094 W.

#### 4.2.2 Factor de potencia

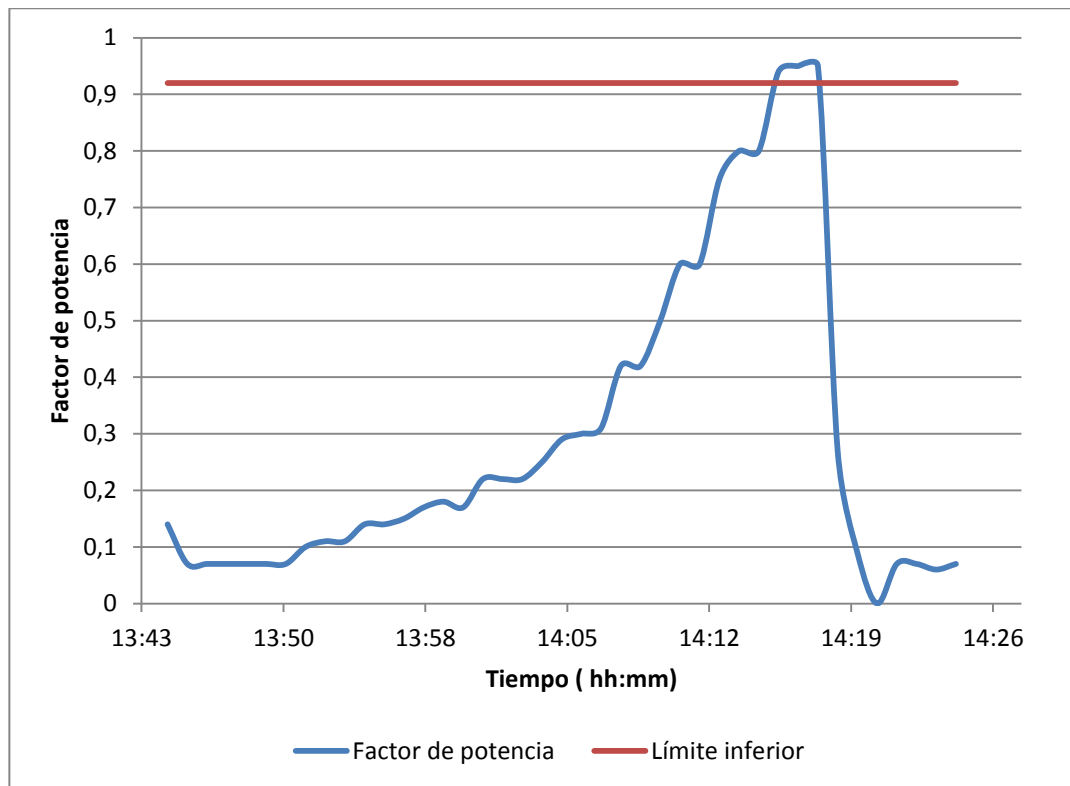
En cuanto al factor de potencia la regulación del CONELEC 004/001 establece que ; el valor mínimo es de 0,92.

A continuación se muestra un resumen del comportamiento general, de la variable factor de potencia, en algunas de las pruebas efectuadas.

*Tabla 4.3Ejemplo de valores registrados del factor de potencia.*

*Fuente: Propia del autor*

Hora(hh:mm)	Tensión (V)	Potencia Activa (W)	Factor de potencia	Nivel de cocción	Límite inferior
13:45	219,07	26,667	0,14	0	0,92
13:46	219,01	26,667	0,07	0	0,92
13:47	218,72	26,667	0,07	0	0,92
13:48	218,85	26,667	0,07	0	0,92
13:49	219,52	26,667	0,07	0	0,92
13:50	219,31	26,667	0,07	0	0,92
13:51	219,84	26,667	0,07	0	0,92
13:52	219,97	53,333	0,1	1	0,92
13:53	220,25	53,333	0,11	1	0,92
13:54	220,02	80	0,11	1	0,92
13:55	220,06	80	0,14	1	0,92
13:56	220,07	106,667	0,14	2	0,92
13:57	220,2	106,667	0,15	2	0,92
13:58	220,37	133,333	0,17	3	0,92
13:59	220,31	133,333	0,18	3	0,92
14:00	220,25	133,333	0,17	3	0,92
14:01	220,71	186,667	0,22	4	0,92
14:02	220,66	186,667	0,22	4	0,92
14:03	220,79	186,667	0,22	4	0,92
14:04	220,62	213,333	0,25	5	0,92
14:05	220,39	266,667	0,29	5	0,92
14:06	220,05	266,667	0,3	5	0,92
14:07	220,34	293,333	0,31	5	0,92
14:08	219,91	400	0,42	6	0,92
14:09	220,22	400	0,42	6	0,92
14:10	219,07	480	0,5	6	0,92
14:11	218,91	560	0,6	7	0,92
14:12	219,01	560	0,6	7	0,92
14:13	218,9	720	0,75	8	0,92
14:14	219	773,333	0,8	8	0,92
14:15	218,67	773,333	0,8	8	0,92
14:16	218,57	1120	0,94	9	0,92
14:17	218,8	1120	0,95	9	0,92
14:18	218,55	1120	0,95	9	0,92
14:19	219,23	240	0,27	5	0,92
14:20	219,07	26,667	0,09	0	0,92
14:21	219,01	26,667	0	0	0,92
14:22	219,2	26,667	0,07	0	0,92
14:23	219,13	26,667	0,07	0	0,92
14:24	219,36	26,667	0,06	0	0,92
14:25	219,53	26,667	0,07	0	0,92
Valores en que cumple la norma					



*FIGURA 4.5: Comportamiento del factor de potencia*  
*FUENTE: Propia del autor*

En las tabla 4.3 y en la figura 4.5 se puede apreciar el comportamiento del parámetro técnico, factor de potencia, los datos registrados se tomaron variando el nivel de cocción entre 1-9, por un intervalo de tiempo de aproximadamente 3 minutos en cada uno, se puede evidenciar que para valores menores al nivel de cocción 9 los valores de factor de potencia no cumplen con la norma. Solamente en el nivel cocción 9, aproximadamente 1120 W de potencia activa, se cumple con los valores establecidos en la regulación.

### 4.2.3 Armónicos

Para el análisis de este parámetro se ha dispuesto la toma de medidas, con la cocina apagada, en modo espera y a plena carga, esto con el fin de apreciar de mejor manera el

comportamiento de esta variable. A si mismo se tiene que analizar el factor THD y los diferentes armónicos individuales, ya que cada uno de ellos tiene un límite establecido en la regulación del CONELEC 004/001.

Adicionalmente a pesar que en la regulación mencionada solo se establezcan valores para los armónicos de voltaje, se tomaran en cuentan también los producidos por efecto de corriente, ya que estos generan daños a la calidad de energía, esto lo haremos basándonos a la norma RTE INEN 101 la que considera que : la Distorsión Armónica Total (THD) no podrá superar el 3% con respecto a la fundamental para la diferencia de potencial eléctrica y 5% para la corriente en operación normal de la cocina de inducción.

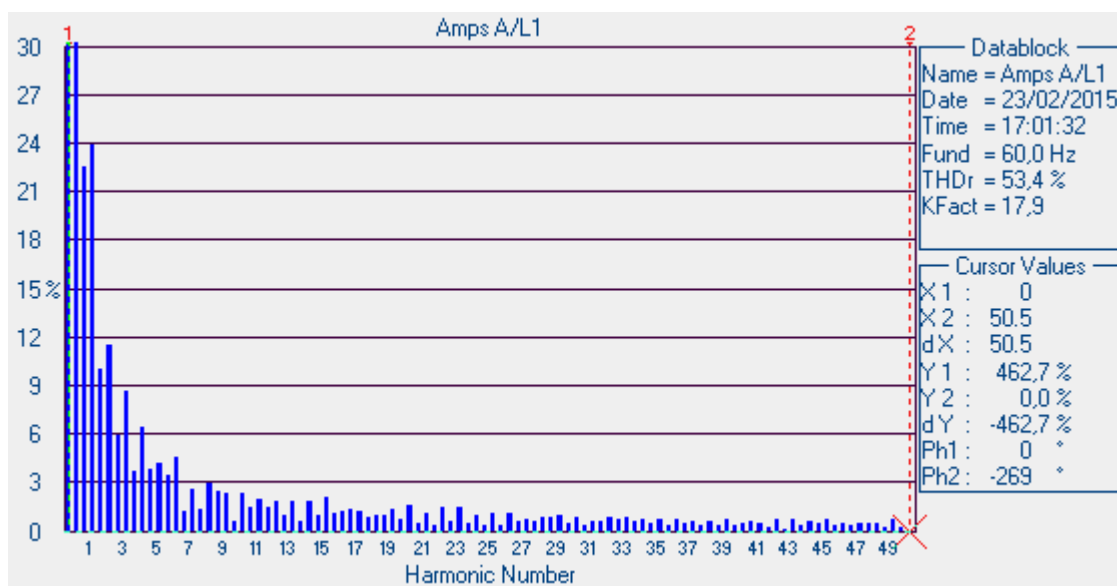


FIGURA 4.6: Armónicos de corriente  
FUENTE: Power Log 4.3.1

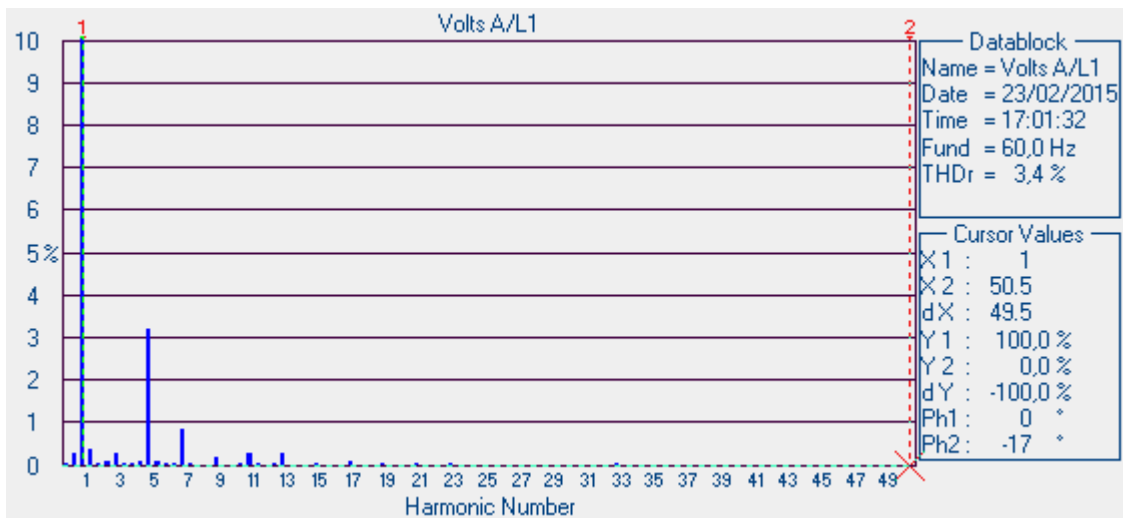


FIGURA 4.7: Armónicos de voltaje  
 FUENTE: Power Log 4.3.1

Los datos registrados en las figuras anteriores corresponden a los valores entregados únicamente por la red de la U.P.S. en el laboratorio donde se desarrollaron las pruebas.

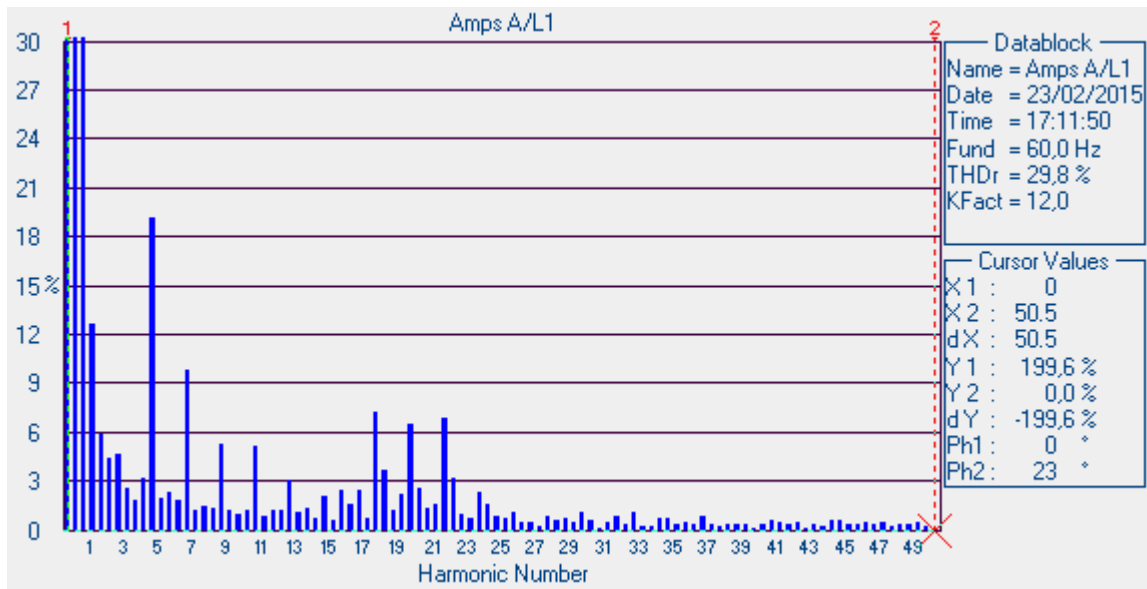


FIGURA 4.8: Armónicos de voltaje  
 FUENTE: Power Log 4.3.1

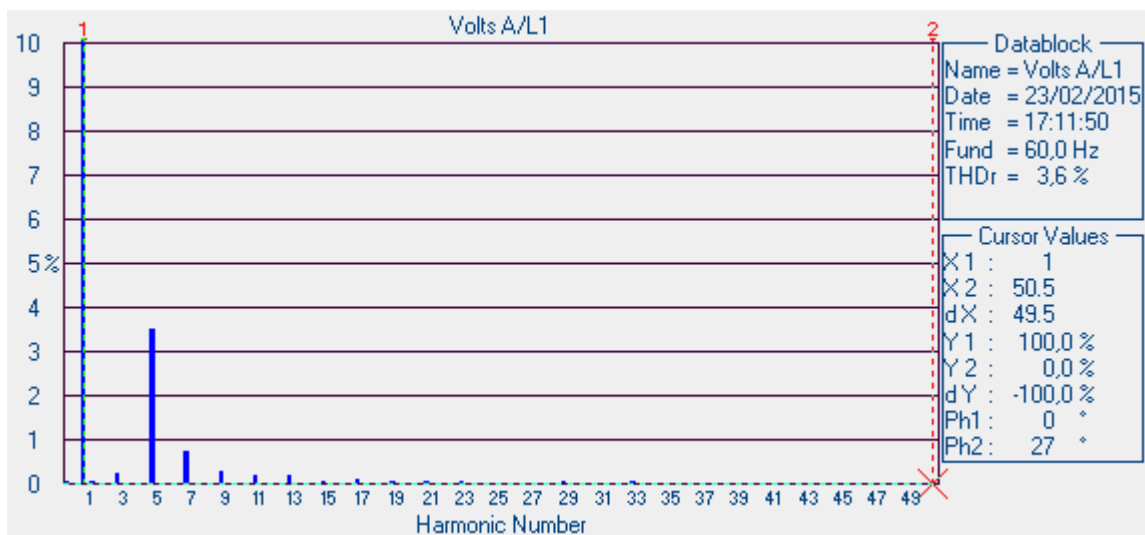


FIGURA 4.9: Armónicos de corriente  
FUENTE: Power Log 4.3.1

Los datos registrados en la figuras anteriores corresponden a los valores entregados con la cocina de inducción en modo de espera el periodo en que permanece en este estado es de aproximadamente 10 segundos.

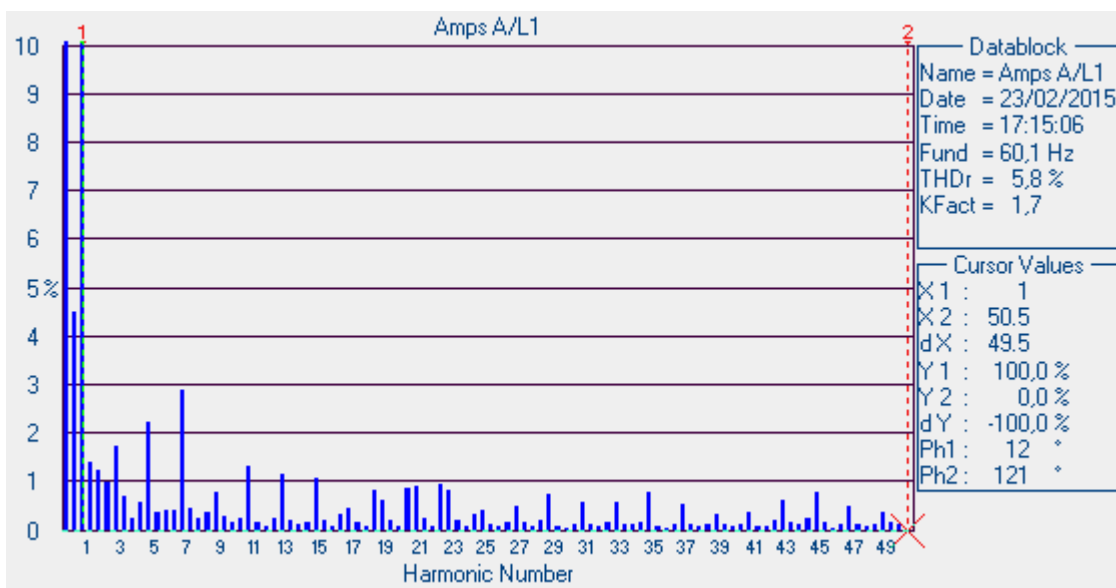
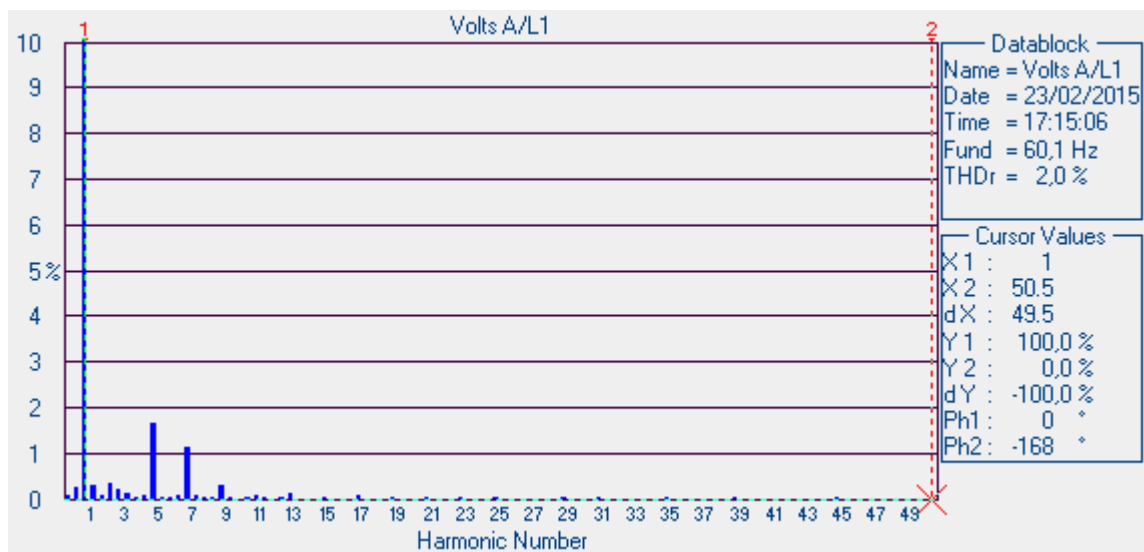


FIGURA 4.10: Armónicos de corriente  
FUENTE: Power Log 4.3.1



*FIGURA 4.11: Armónicos de voltaje*  
*FUENTE: Power Log 4.3.1*

Los datos registrados en la figuras anteriores corresponden a los valores entregados con la cocina de inducción en funcionamiento a un nivel de potencia de 9 en el inductor #3 .

De todo las gráficas analizadas se puede observar una tendencia de cambio en el valor de THD tanto de voltaje como de corriente en los tres estados, adicionalmente se puede observar cambios en los armónicos 3,5,7 y 11 principalmente.

### 4.3 Comparación entre datos iniciales y finales

Con el fin de destacar las variaciones de los parámetros técnicos medidos se procederá a compararlos entre los datos registrados en la red como datos iniciales y con la cocina en funcionamiento como datos finales.

#### 4.3.1 Nivel de voltaje

En la tabla 4.4 se puede observar los resultados en cuanto al nivel de voltaje, de varias pruebas tomadas al aleatoriamente, de un conjunto en el que se agrupo las utilizadas con un



nivel de cocción 9, se realizó un promedio de los valores de voltaje registrados de la red y cuando la cocina entro en funcionamiento, para con ellos sacar el valor aproximado de cambio del nivel de voltaje.

*Tabla 4.4 Comparacion de datos registrados del nivel de voltaje*  
*Fuente: Propia del autor*

Prueba 28		Prueba2		Prueba 10	
Voltaje red(V)	Voltaje cocina(V)	Voltaje red(V)	Voltaje cocina(V)	Voltaje red(V)	Voltaje cocina(V)
218,23	217,89	213,65	211,54	216,75	217,23
218,27	217,42	213,87	211,05	216,77	216,04
218,14	217,23	213,55	210,95	216,84	215,85
218,46	217,11	212,77	210,61	217,17	214,82
218,18	217,12	211,75	210,82	217,4	215,17
218,37	217,2	211,56	211,3	215,89	215,72
218,5		212,09		216,03	
218,43		213,74		215,48	
				215,32	
				215,22	
				215,48	
Promedio	218,3225	217,3283333	212,8725	216,2136364	215,805
$\Delta V = V_{red} - V_{cocina}$	0,994166667	1,8275		0,408636364	

Se puede observar que en la muestra tomada, siempre existe un comportamiento de variación del nivel de voltaje, con una tendencia de caída de tensión, en el momento en que entra en funcionamiento la cocina de inducción.

#### 4.3.2 Factor de potencia

Para la comparación de este parámetro se tomaran en cuenta los diferentes valores niveles de cocción utilizados en las pruebas, ya que tiende a tener un comportamiento diferente dependiendo de la potencia suministrada.

Tabla 4.5 Valores de nivel de factor de potencia diferentes pruebas  
Fuente: Propia del autor

	Prueba 2 FP nivel de cocción 9		Prueba 12 FP nivel de cocción 7		Prueba 23 FP nivel de cocción 5		Prueba 8 FP nivel de cocción 2	
Cocina	apagada	encendida	apagada	encendida	apagada	encendida	apagada	encendida
	-0,01	0,95	0,05	0,4	0,02	0,29	0,04	0,13
	0,04	0,95	0,05	0,67	0,07	0,31	0	0,18
	0,02	0,95	0,05	0,68	0,07	0,31	0,06	0,18
	0,08	0,95	0,06	0,68	0,07	0,32	0,13	0,18
	0,11	0,95	0,07	0,68	0,07	0,29	0,09	0,18
	0,09		0,13	0,68	0,06		0,04	0,17
	0,02		0,06	0,68	0,07		0,04	0,17
	0,09		0,04	0,67	0,05		0,05	0,17
			0,06	0,67	0,04		0,05	0,04
			0,09	0,67	0,05		0,05	0,17
				0,67	0,02			0,16
				0,67	0,06			
				0,19				
Promedio	0,055	0,95	0,066	0,6161538	0,054167	0,304	0,055	0,15727273
	Cumple con la norma							
	No cumple con la norma							

Los valores de la tabla 4.5 indican como el factor de potencia se va incrementando de acuerdo al nivel de cocción que se tenga en la cocina de inducción, los promedios de potencia utilizados en esta tabla son : para nivel 9 se tiene una potencia activa de 1093 W, para nivel de potencia 7 una potencia activa de 587 W, para nivel 5 una potencia activa de 373W , y finalmente para nivel de cocción 9 una potencia de 106 W.

Se realizó un promedio de los diferentes valores registrados, antes y con la cocina de inducción en funcionamiento, se puede evidenciar que para valores distintos de nivel de cocción 9, no cumplen con lo establecido en la regulación 0004/001, que tiene como valor límite para el factor de potencia 0,92.

Los valores tomados de la red con tendencia a 0 se registran ya que; en el lugar donde se llevó acabo la medición no se encontraban equipos de mayor consumo por lo que el consumo de potencia es casi nulo.

### 4.3.3 Armónicos

*Tabla 4.6: Datos de armónicos de la red*  
*Fuente: Propia del autor*

%	2,94	0,10	0,37	0,04	2,85	0,03	0,27	0,03	0,31	0,03	0,38	0,02
# armónico	THDV	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%	58,62	40,16	24,87	19,77	15,22	12,54	10,72	9,27	8,31	7,46	7,00	6,23
# armónico	THDI	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Los datos de armónicos de la red han sido tomado del tablero principal del laboratorio de mediciones de la U.P.S, las medidas de armónicos con la cocina encendida están hechas en el nivel de cocción nueve al que corresponde un valor de potencia activa de aproximadamente de 1700 W

*Tabla 4.7: Datos de armónicos con la cocina funcionando*  
*Fuente: Propia del autor*

%	3,17	0,15	0,24	0,07	3,06	0,04	0,66	0,03	0,19	0,02	0,32	0,02
# armónico	THDV	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%	5,99	1,11	2,81	0,42	4,52	0,32	1,02	0,20	0,63	0,17	1,04	0,21
# armónico	THDI	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Los cambios existentes entre antes del encendido y con la cocina funcionando se presenta a continuación, los valores de signo negativo representa una disminución en el cambio, mientras que los valores positivos un aumento.

*Tabla 4.8: Diferencia entre datos iniciales y finales*  
*Fuente: Propia del autor*

%	0,22	0,06	-0,13	0,02	0,21	0,01	0,39	0,00	-0,12	-0,01	-0,07	0,00
# armonico	THDV	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
%	-52,63	-39,05	-22,07	-19,35	-10,70	-12,22	-9,70	-9,07	-7,68	-7,28	-5,96	-6,02
# armonico	THDI	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Se puede observar que los valores de armónicos de voltaje varían, algunos aumentan y otros disminuyen, mientras que los valores de armónicos de corriente todos tienden a disminuir.

#### **4.4 Identificación de los efectos del empleo de las cocinas de inducción en la calidad del producto: niveles de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia.**

Para la evaluación de los efectos producidos por las cocinas de inducción a la calidad de producto, se compara los valores analizados en el subcapítulo 4.3 con los valores límites que se han considerado en las normas tratadas en esta investigación principalmente en la regulación del CONELEC 004/001 y al norma INEN 101.

##### **4.4.1 Nivel de voltaje**

Se toma como referencia de la regulación del CONELEC 004/001 debido a que las pruebas se llevaron a cabo dentro de la zona urbana, una variación de  $\pm 8,0\%$  del voltaje nominal (220 V).

*Tabla 4.9 Cuadro comparativo de niveles de voltaje  
Fuente. Propia del autor*

	VOLTAJE (V)
RED SIN COCINA	218,32
RED CON COCINA	217,32
VARIACION	1
TEORICO	220
LIMITES min/max	202,4/237,6

En la tabla se muestra niveles de voltaje promedios obtenidos a lo largo de las pruebas, con el fin de generalizar el efecto producido por la implementación de las cocinas a

inducción, en la que se puede apreciar que la variación producida, se encuentra dentro de los límites establecidos.

#### 4.4.2 Factor de potencia

En cuanto al factor de potencia la regulación del CONELEC 004/001 establece que ; el valor mínimo es de 0,92.

*Tabla 4.10 Cuadro comparativo de niveles de factor de potencia  
Fuente: Propia del autor*

Nivel de potencia	FP	P
9	0,95	1093W
7	0,61	587W
5	0,304	373W
2	0,15	106W
plena carga	0,99	5146W

En la tabla se puede apreciar que a mayor incremento de potencia activa el factor de potencia se eleva hasta alcanzar en plena carga (todos los inductores encendidos a nivel 9 ), un valor de 0,99, cumpliendo con lo que establece la regulación, sin embargo con potencias muy bajas el valor del FP está por debajo del límite.

#### 4.4.3 Armónicos

La tabla 4.11 muestra los valores límites de armónicos de voltaje individuales y la distorsión armónica total, establecidos por la regulación del CONELEC 004/001, de acuerdo a las condiciones en las que se llevaron a cabo las diferentes pruebas.

Tabla 4.11 : Valores de armónicos de voltaje  
Fuente: Propia del autor y [1]

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i $ o $ THD $		VALORES MEDIDOS
	(% respecto al voltaje nominal del punto de medición)		
			NIVEL 9 DE POTENCIA
		V ≤ 40 kV (trafos de distribución)	POTENCIA 1700W
Impares no múltiplos de 3			
5		6.0	3,06
7		5.0	0,66
11		3.5	0,32
Impares múltiplos de tres			
3		5.0	0,24
9		1.5	0,19
THD		8	3,17

En la tabla anterior se puede apreciar que la red aun cuando entra a funcionar la cocina de inducción, presenta armónicos de voltaje que están dentro de los límites establecidos por la regulación.

Tabla 4.12: Valores de armónicos de corriente  
Fuente: Propia del autor

Potencia	1700 W	NORMA INEN RTE 101
THDI	5,99%	5%
Nivel	9	
#Inductor	4	

Para analizar los armónicos de corriente se toma como referencia la norma INEN RTE 101 la cual establece : la Distorsión Armónica Total (THD) no podrá superar el 3% con respecto a la fundamental para la diferencia de potencial eléctrica y 5% para la corriente en operación normal de la cocina de inducción. Como se puede observar no cumple con la norma.

En la tabla 4.12 se puede evidenciar que se presentan armónicos de corriente que no cumplen con la norma cuando está funcionando la cocina de inducción. Esta tabla fue realizada con un promedio de las diferentes pruebas en las que se tuvo operativa a la cocina de inducción en un nivel de cocción 9.

## CONCLUSIONES

- 1 La distorsión armónica total de corriente, que se presenta en la puesta en funcionamiento de la cocina de inducción, supera el valor de la norma para varios de los niveles de cocción utilizados, siendo notorio el incremento principalmente de la quinta armónica.
- 2 Los valores del factor de potencia registrados al momento en que la cocina de inducción está funcionando no cumple con la norma para valores bajos de potencia, este valor tiende a incrementarse hasta llegar a cumplir con la norma en valores de cocción altos. Adicionalmente se evidencio que la potencia no llega a alcanzar lo descrito en sus datos de placa.
- 3 Las caídas de voltaje que se presentan durante el periodo en que, la cocina de inducción entra en funcionamiento, son relativamente bajas y tienden a disminuir conforme se aumenta la potencia; en todo caso se encuentran dentro de los límites establecidos por la regulación.
- 4 El funcionamiento de las cocinas de inducción, no afecta al cumplimiento de la regulación, en cuanto a la distorsión armónica total de voltaje, incluso para los valores individuales de armónicos.
- 5 En modo de espera, cuando se ha culminado el uso de la cocina, se genera armónicos en la red, por el funcionamiento de los componentes de ventilación del equipo; sin embargo los tiempos que se operan en este estado no son muy significativos para generar perturbaciones a las redes.

## RECOMENDACIONES

- 1** A las empresas de distribución de energía eléctrica, para que tengan prevista la instalación de filtros que mitiguen el efecto de los armónicos de corriente producidos por la implementación de las cocinas de inducción.
- 2** A los fabricantes de cocinas de inducción para que coloquen en los manuales técnicos de las cocinas de inducción, información de las características de funcionamiento cuando no están operativas a plena carga, y que valores inciden para que no se cumplan los datos de placa.
- 3** A las empresas distribuidoras de energía eléctrica, ajustar las toma (taps) de los transformadores de distribución, para compensar las caídas de tensión producidas por el uso de las cocinas de inducción.
- 4** A los fabricantes de las cocinas de inducción, incluir en manuales técnicos de los equipos, el cómo podrían afectarse las cocinas si el valor de distorsión armónica total de voltaje que entrega el distribuidor de energía eléctrica no está dentro de las normas.
- 5** A los fabricantes de las cocinas de inducción, para que coloquen en los manuales técnicos, información sobre las características de desempeño que se tiene en modo de espera.



## REFERENCIAS

- [1] CONELEC, “REGULACION No. CONELEC – 004/01,” Ecuador, 2001.
- [2] CONELEC, *LEY\_ SECTOR\_ ELECTRICO\_CODIFICADA\_DICIEMBRE\_2010*. Quito - Ecuador, 2010.
- [3] CONELEC, *Reglamento Sustitutivo LRSE*. Quito - Ecuador, 1996.
- [4] CONELEC, *Reglamento Suministro Electricidad*. Quito - Ecuador, 1999.
- [5] J. Carpio, J. Camiña, and R. Torres, *Alimentación de cargas críticas y calidad de la energía eléctrica*. Madrid, 2013, p. 440.
- [6] A. Hemosa, *Principios de electricidad y electrónica TOMO III*. Barcelona, 2003, p. 240.
- [7] T. Daule, “Matriz energética,” *Sect. Estrategicos para el buen vivir*, vol. 1, pp. 1–20, 2013.
- [8] Senplades, *Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017*. Quito - Ecuador, 2013.
- [9] CONELEC, *Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022 Volumen I*. Quito - Ecuador: Advantlogic Ecuador S.A., p. 116.
- [10] “Valores / Misión / Visión | Instituto Ecuatoriano de Normalización.” [Online]. Available: <http://www.normalizacion.gob.ec/mision-vision/>. [Accessed: 08-Feb-2015].
- [11] INEN, “Seguridad en Cocinas de Inducción. Requisitos,” vol. 2555, 2010.
- [12] INEN, *Reglameto Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101*. Quito - Ecuador, 2014, pp. 1–19.

- [13] K. W. E. Cheng and K. W. Chan, “Heating Performance Improvement and Field Study of the Induction Cooker,” 2009.
- [14] J. W. J. J. Raymond A. Serway, *Electricidad y Magnetismo*, Sexta. México, 2005, p. 387.
- [15] “Inducción magnética.” [Online]. Available: <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/induccin.html>. [Accessed: 10-Jan-2015].
- [16] O. Semiconductor, “Induction Cooking Everything You Need to Know,” Phoenix, Estados Unidos, AND9166/D, 2014.
- [17] “HISTÉRESIS CAPITULO VII.-MAGNETISMO.” [Online]. Available: <http://www.ifent.org/lecciones/cap07/cap07-06.asp>. [Accessed: 11-Jan-2015].
- [18] J. N. Hincapié, A. Trejos, and M. E. Moncada, “Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico : revisión del estado del arte,” 2013.
- [19] CONELEC, “PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013-2022,” Quito - Ecuador, 2013, p. 380.
- [20] MEER, “Programa de eficiencia energética para cocción por inducción.” [Online]. Available: <https://www.energia.gob.ec/cocinas-de-induccion/>.
- [21] R. León, *El paradigma cuantitativo de la investigación científica*. La Habana, 2008, p. 115.
- [22] M. Gómez, *Introducción a la metodología de la investigación científica*, 2a. ed. Córdoba - Argentina, 2009, p. 189.
- [23] Fluke, “Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II.” EE.UU., p. 182, 2012.

- [24] “Indurama > Paises > Ecuador > Productos > Ver Producto.” [Online]. Available: <http://www.indurama.com/Paises/Ecuador/Productos/Ver-Producto/productid/133>. [Accessed: 07-Feb-2015].
- [25] A. Grandjean, J. Adnot, and G. Binet, “A review and an analysis of the residential electric load curve models,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 9, pp. 6539–6565, Dec. 2012.
- [26] El\_Telégrafo, “Plan de cambio de energía en hogares iniciará en agosto,” 2014. .
- [27] W. Arthur K.K. and F. N.K., “Experimental Study of Induction Cooker Fire Hazard,” Elsevier B.V., Jan. 2013.
- [28] S. W. Chan, C. S. Lam, K. W. To, and S. K. Ho, “Impacts of High Power Induction Heaters on Power System,” pp. 1763–1768, 2006.
- [29] “Comité Revolución Ciudadana - ELOY ALFARO SR: COCINAS DE INDUCCION MAGNETICA.” [Online]. Available: <http://rceloyalfarosr.blogspot.com/2013/08/cocinas-de-induccion-magnetica.html>. [Accessed: 24-Oct-2014].
- [30] T. K. P. Medicherla, M. S. Sachdev, and R. Billinton, “A linear load flow technique for power system reliability studies,” *Can. Electr. Eng. J.*, vol. 4, no. 3, pp. 17–21, Jul. 1979.
- [31] “La cocción por inducción, Diseño, Historia, Utilizar, Beneficios, Limitaciones, La eficiencia y el impacto ambiental, Los vendedores.” [Online]. Available: [http://centrodeartigo.com/articulos-informativos/article\\_64327.html](http://centrodeartigo.com/articulos-informativos/article_64327.html). [Accessed: 24-Oct-2014].
- [32] Westinghouse Electric Corporation. Electric Utility Engineering Dept, *Electric Utility Engineering Reference Book: Distribution systems*. The Corporation, 1965, p. 567.

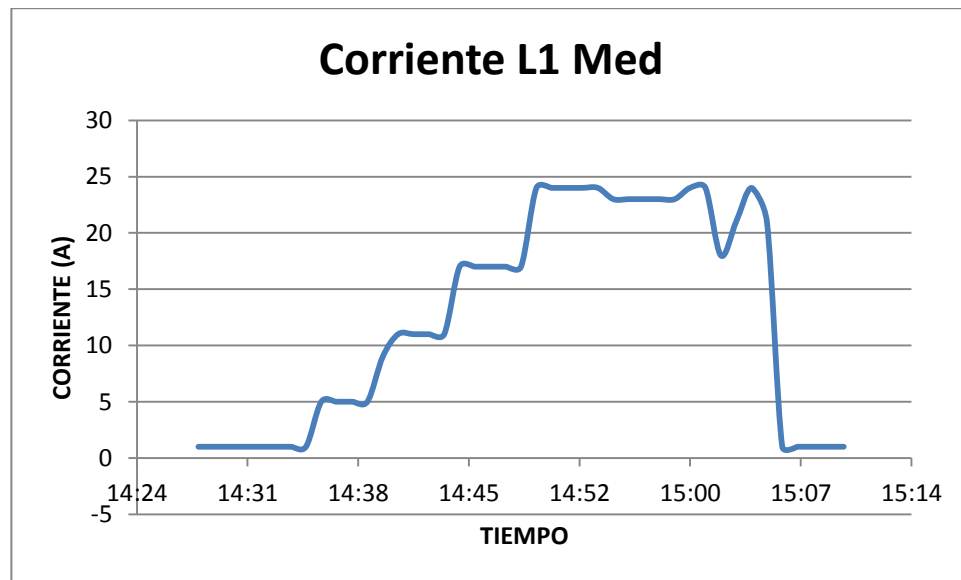
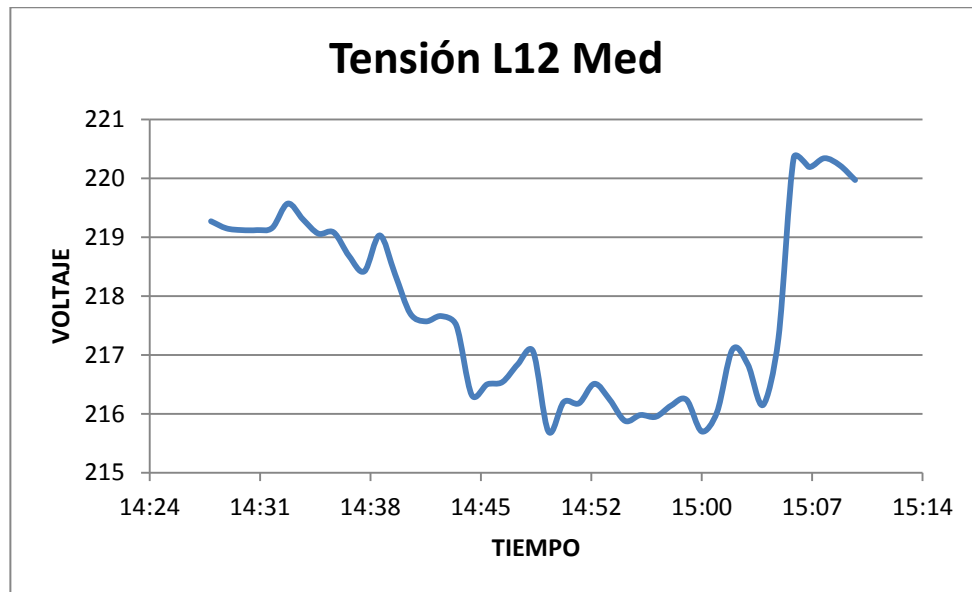
- [33] J. Byun, K. Choi, H. Roh, and S. Hahn, “Optimal Design Procedure for a Practical Induction Heating Cooker,” 2000.
- [34] The Mendeley Support Team, “Getting Started with Mendeley,” *Mendeley Desktop*. Mendeley Ltd., London, pp. 1–16, 2011.
- [35] O. Lucía, P. Maussion, E. J. Dede, and J. M. Burdío, “Induction Heating Technology and Its Applications: Past Developments , Current Technology , and Future Challenges,” 2014.
- [36] El Universo, “Cocinas eléctricas serán de 4 mil vatios de potencia,” 2014. .
- [37] CONELEC, “Estudio de la demanda de energía y potencia de cocinas eléctricas y su impacto en la curva de carga diaria del S.N.I. periodo 2015-2022,” Quito, 2013.
- [38] R. Energía, “Los Armónicos y la Calidad de la Energía Eléctrica,” p. 43, 2000.
- [39] A. Iagar, G. Nicolae, P. Corina, and M. Dinis, “The influence of home nonlinear electric equipment operating modes on power quality,” 2014.
- [40] M. A. Mora-Barajas and P. Bañuelos-Sánchez, “Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos,” Facultad de Ingeniería, UNAM.

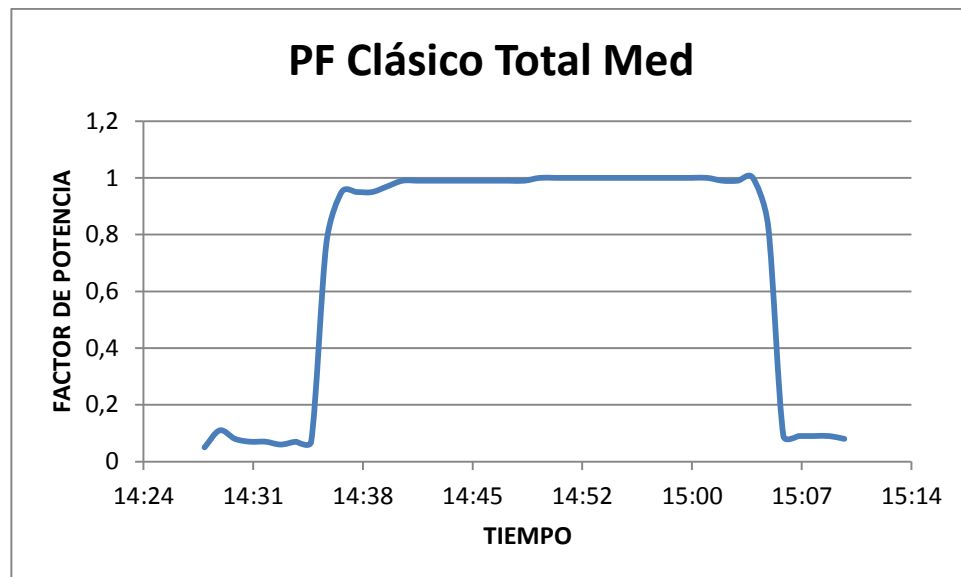
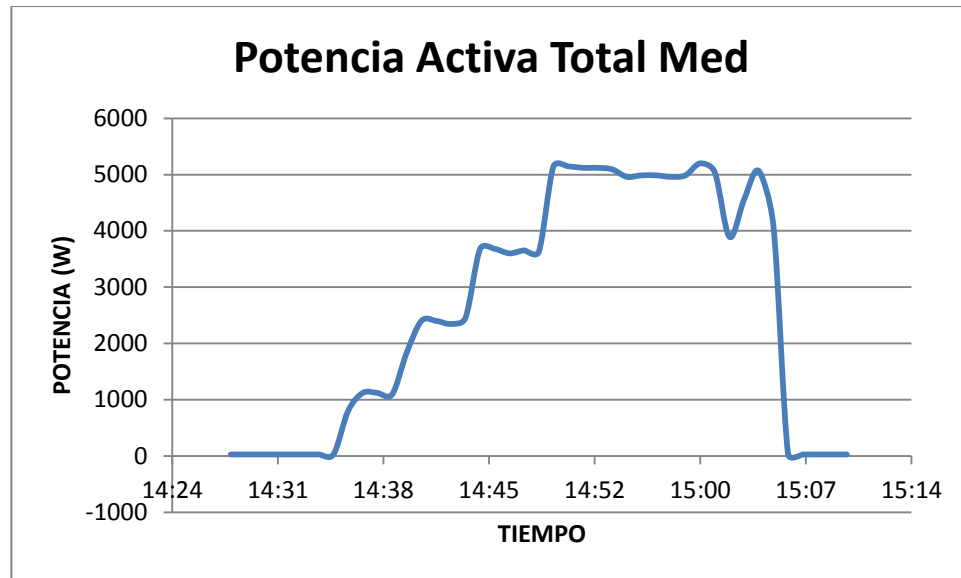
## ANEXOS

### *ANEXO 1. Registro de pruebas de incremento progresivo de potencia*

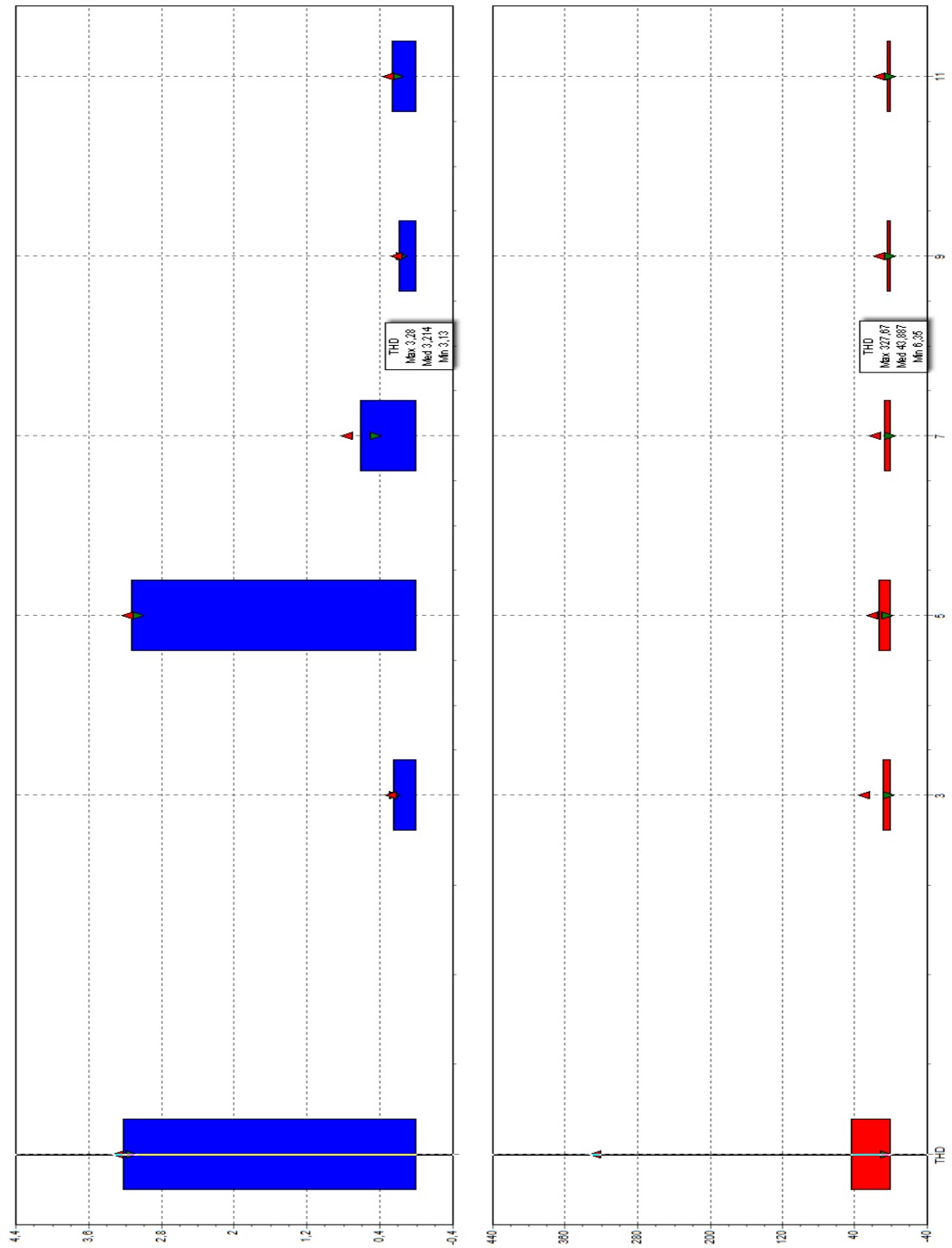
Hora	Tensión L12 Med	Corriente L1 Med	Potencia Activa Total Med	PF Clásico Total Med
14:28	219,27	1	26,667	0,05
14:29	219,15	1	26,667	0,11
14:30	219,12	1	26,667	0,08
14:31	219,12	1	26,667	0,07
14:32	219,16	1	26,667	0,07
14:33	219,57	1	26,667	0,06
14:34	219,3	1	26,667	0,07
14:35	219,06	1	26,667	0,07
14:36	219,08	5	800	0,77
14:37	218,68	5	1120	0,95
14:38	218,42	5	1120	0,95
14:39	219,03	5	1093,333	0,95
14:40	218,37	9	1840	0,97
14:41	217,7	11	2400	0,99
14:42	217,57	11	2400	0,99
14:43	217,66	11	2346,667	0,99
14:44	217,5	11	2453,333	0,99
14:45	216,32	17	3680	0,99
14:46	216,5	17	3680	0,99
14:47	216,54	17	3600	0,99
14:48	216,84	17	3653,333	0,99
14:49	217,06	17	3626,667	0,99
14:50	215,7	24	5146,667	1
14:51	216,2	24	5146,667	1
14:52	216,18	24	5120	1
14:53	216,51	24	5120	1
14:54	216,24	24	5093,333	1
14:55	215,88	23	4960	1
14:56	215,98	23	4986,667	1
14:57	215,95	23	4986,667	1
14:58	216,14	23	4960	1
14:59	216,24	23	4986,667	1
15:00	215,7	24	5200	1
15:01	216,03	24	5040	1
15:02	217,09	18	3893,333	0,99
15:03	216,84	21	4560	0,99
15:04	216,15	24	5066,667	1
15:05	217,28	21	4080	0,83
15:06	220,35	1	26,667	0,09
15:07	220,19	1	26,667	0,09
15:08	220,34	1	26,667	0,09
15:09	220,22	1	26,667	0,09
15:10	219,97	1	26,667	0,08

ANEXO 2 Tablas de resultados de pruebas incremento progresivo de potencia



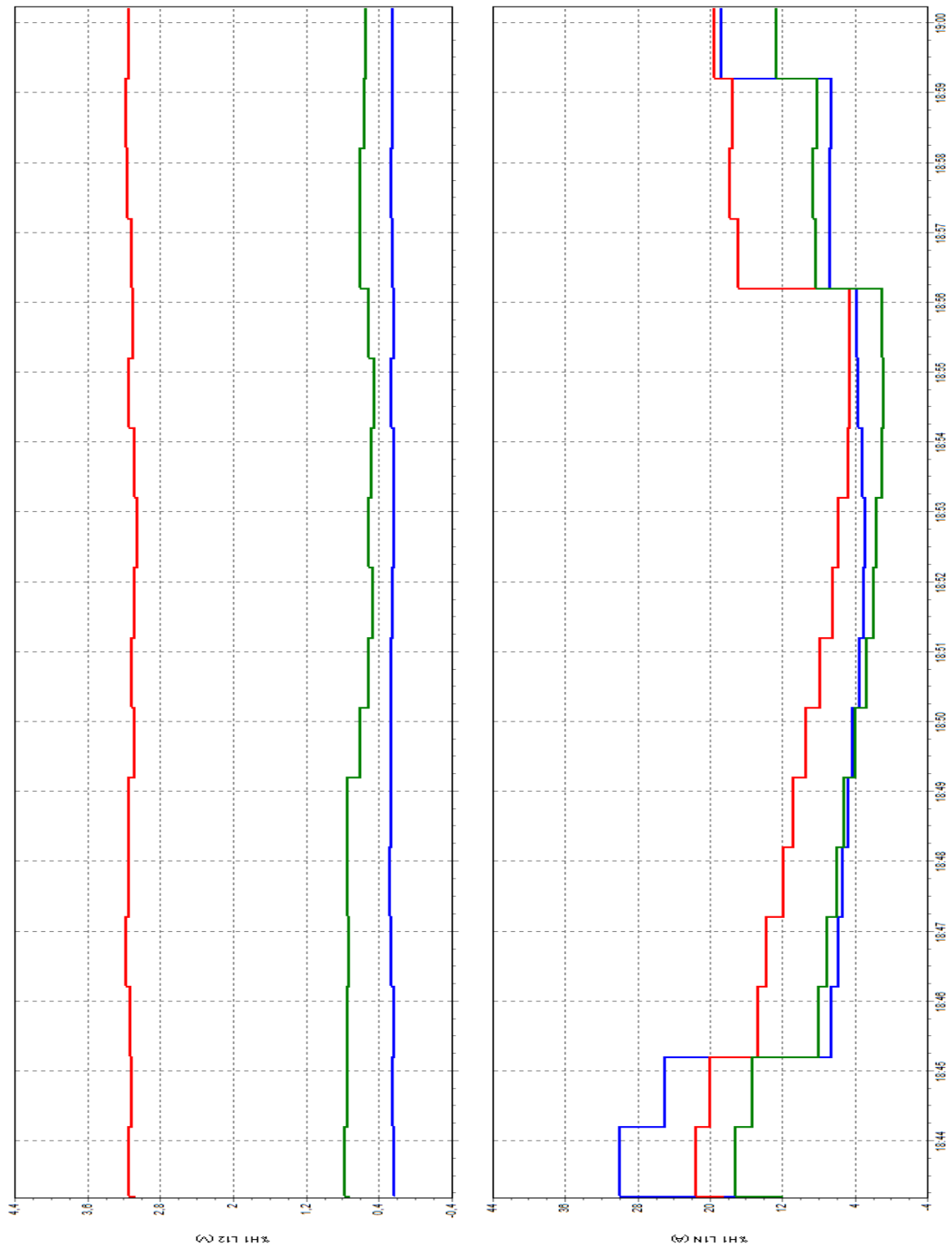


ANEXO 3 Graficas de armónicos en modo de uso normal de la cocina de inducción





ANEXO 4 Evolución temporal de los armónicos 3,5,7 incrementando potencia



ANEXO 5 Comportamiento del voltaje y la corriente con 2 cocinas

